

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 9月30日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-287631

[ST.10/C]:

[JP2002-287631]

出 願 人

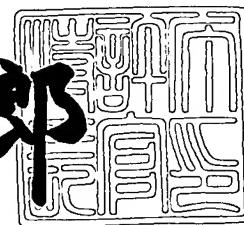
Applicant(s):

富士写真フイルム株式会社

2003年 4月18日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3028685

【書類名】 特許願

【整理番号】 P27160J

【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿

【国際特許分類】 G02B 26/08

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡開成町宮台 7 9 8 番地 富士写真フイルム株式会社内

 【氏名】 石川 弘美

【特許出願人】

 【識別番号】 000005201

 【氏名又は名称】 富士写真フイルム株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100073184

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 柳田 征史

【選任した代理人】

 【識別番号】 100090468

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 佐久間 剛

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 008969

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9814441

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 画像形成装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 照射された光を各々制御信号に応じて変調する多数の画素部が 2 次元状に配列されてなる空間光変調素子と、

この空間光変調素子に光を照射する光源と、

前記空間光変調素子で変調された光の光路に配置された第 1 の結像光学系と、

前記空間光変調素子の各画素部にそれぞれ対応するマイクロレンズがアレイ状に配されてなり、前記第 1 の結像光学系による結像面の近傍に配置されたマイクロレンズアレイと、

このマイクロレンズアレイを通過した光の光路に配置されて、前記変調された光による像を所定の面上に結像する第 2 の結像光学系とを備えてなる画像形成装置において、

前記第 1 および第 2 の結像光学系が、それぞれ 1 倍を超える倍率で像を結ぶ拡大結像光学系とされていることを特徴とする画像形成装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は画像形成装置、特に詳細には、空間光変調素子で変調された光を結像光学系に通して、この光による像を所定の面上に結像させる画像形成装置に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来技術】

従来、上記のように、空間光変調素子で変調された光を結像光学系に通して、この光による像を所定の面上に結像させる画像形成装置が公知となっている。この種の画像形成装置は、変調された光が結ぶ像を感光材料上に投影して画像露光する装置や、変調された光が結ぶ像をスクリーンに投影して画像表示する装置等を構成するために広く適用されている。この種の画像形成装置は、基本的に、照射された光を各々制御信号に応じて変調する多数の画素部が 2 次元状に配列され

てなる空間光変調素子と、この空間光変調素子に光を照射する光源と、前記空間光変調素子により変調された光による像を結像する結像光学系とを備えてなるものである。

【 0 0 0 3 】

なお、非特許文献 1 および本出願人による特願 2 0 0 2 - 1 4 9 8 8 6 号明細書には、上記基本的構成を有して露光装置として形成された画像形成装置の例が示されている。

【 0 0 0 4 】

ところで上述のような画像形成装置においては、感光材料やスクリーン上に投影する画像を拡大したいという要求が伴うことも多く、その場合には、結像光学系として拡大結像光学系が用いられる。そのようにする際、空間光変調素子を経た光をただ拡大結像光学系に通しただけでは、空間光変調素子の各画素部からの光束が拡大して、投影された画像において画素サイズが大きくなり、画像の鮮鋭度が低下してしまう。

【 0 0 0 5 】

そこで、上記特願 2 0 0 2 - 1 4 9 8 8 6 号明細書にも示されるように、空間光変調素子で変調された光の光路に第 1 の結像光学系を配し、この結像光学系による結像面には空間光変調素子の各画素部にそれぞれ対応するマイクロレンズがアレイ状に配されてなるマイクロレンズアレイを配置し、そしてこのマイクロレンズアレイを通過した光の光路には、変調された光による像を感光材料やスクリーン上に結像する第 2 の結像光学系を配置して、これら第 1 および第 2 の結像光学系によって像を拡大投影することが考えられている。この構成においては、感光材料やスクリーン上に投影される画像のサイズは拡大される一方、空間光変調素子の各画素部からの光はマイクロレンズアレイの各マイクロレンズによって集光されるので、投影画像における画素サイズ（スポットサイズ）は絞られて小さく保たれるので、画像の鮮鋭度も高く保つことができる。

【 0 0 0 6 】

なお特許文献 1 には、上記のように空間光変調素子とマイクロレンズアレイとを組み合わせた構成が開示されているが、ここでは画像の拡大については考慮さ

れていない。

【 0 0 0 7 】

【特許文献 1】

特開 2 0 0 1 - 3 0 5 6 6 3 号公報

【 0 0 0 8 】

【非特許文献 1】

石川明人”マスクレス露光による開発短縮と量産適用化”、「エレクトロニクス実装技術」、株式会社技術調査会、Vol.18、No.6、2002年、p.74-79

【 0 0 0 9 】

【発明が解決しようとする課題】

ここで、上記のように第 1 および第 2 の結像光学系とマイクロレンズアレイとを組み合わせた構成においては、第 1 および第 2 の結像光学系によって大きな拡大率を実現しようとするとき、各結像光学系の倍率の設定に応じて、問題が生じることもある。

【 0 0 1 0 】

すなわち、第 2 の結像光学系は等倍結像光学系とし、第 1 の結像光学系で高倍率を実現しようとする、レンズ性能（歪曲特性）が悪くなり、画像形成装置の消光比が悪くなるという問題を招く。すなわち、マイクロレンズアレイの各マイクロレンズには、空間光変調素子の各画素部からの光がそれぞれ独立して入射しなければならないが、第 1 の結像光学系の歪曲特性が悪いと、マイクロレンズアレイのあるマイクロレンズに対して、それに対応する空間光変調素子の画素部のみならず、その隣接の画素部からの光も一部入射するようになり、消光比が大きく低下してしまう。

【 0 0 1 1 】

その反対に、第 1 の結像光学系は等倍結像光学系とし、第 2 の結像光学系で高倍率を実現しようとする、第 2 の結像光学系が高倍率である分、マイクロレンズの集光位置でのビーム径を非常に小さくする必要があり、そのため結像光学系全体が誤差に敏感で設計が難しいものになる。

【 0 0 1 2 】

本発明は上記の事情に鑑みてなされたものであり、前述したように第 1 および第 2 の結像光学系とマイクロレンズアレイとを組み合わせる拡大結像光学系を備えた画像形成装置において、結像光学系の歪曲収差による消光比低下を防止し、また結像光学系の設計を容易化することを目的とする。

【 0 0 1 3 】

【課題を解決するための手段】

本発明による画像形成装置は、前述したように、

照射された光を各々制御信号に応じて変調する多数の画素部が 2 次元状に配列されてなる空間光変調素子と、

この空間光変調素子に光を照射する光源と、

前記空間光変調素子で変調された光の光路に配置された第 1 の結像光学系と、

前記空間光変調素子の各画素部にそれぞれ対応するマイクロレンズがアレイ状に配されてなり、前記第 1 の結像光学系による結像面に配置されたマイクロレンズアレイと、

このマイクロレンズアレイを通過した光の光路に配置されて、前記変調された光による像を所定の面上に結像する第 2 の結像光学系とを備えてなる画像形成装置において、

第 1 および第 2 の結像光学系が、それぞれ 1 倍を超える倍率で像を結ぶ拡大結像光学系とされていることを特徴とするものである。

【 0 0 1 4 】

【発明の効果】

本発明による画像形成装置は、第 1 および第 2 の結像光学系をともに拡大結像光学系として、それらの両結像光学系の倍率の掛け合わせによって所望の拡大率を得るようにしたので、第 1 および第 2 の結像光学系のそれぞれの拡大率は比較的小さく設定できるものとなる。したがって、第 1 の結像光学系を特に高倍率にする場合に生じる歪曲特性の悪化を防止して、高い消光比を実現できるようになる。また反対に、第 2 の結像光学系を特に高倍率にする場合に生じる問題を無くして、結像光学系の設計を容易にすることができる。

【 0 0 1 5 】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。

【0016】

なお以下では、本発明の画像形成装置の一実施の形態として形成された画像露光装置について説明する。

【0017】

〔露光装置の構成〕

本例の露光装置は、図1に示すように、シート状の感光材料150を表面に吸着して保持する平板状のステージ152を備えている。4本の脚部154に支持された厚い板状の設置台156の上面には、ステージ移動方向に沿って延びた2本のガイド158が設置されている。ステージ152は、その長手方向がステージ移動方向を向くように配置されると共に、ガイド158によって往復移動可能に支持されている。なお、この露光装置には、ステージ152をガイド158に沿って駆動するための図示しない駆動装置が設けられている。

【0018】

設置台156の中央部には、ステージ152の移動経路を跨ぐようにコ字状のゲート160が設けられている。コ字状のゲート160の端部の各々は、設置台156の両側面に固定されている。このゲート160を挟んで一方の側にはスキヤナ162が設けられ、他方の側には感光材料150の先端及び後端を検知する複数（例えば、2個）の検知センサ164が設けられている。スキヤナ162及び検知センサ164はゲート160に各々取り付けられて、ステージ152の移動経路の上方に固定配置されている。なお、スキヤナ162及び検知センサ164は、これらを制御する図示しないコントローラに接続されている。

【0019】

スキヤナ162は、図2及び図3（B）に示すように、 m 行 n 列（例えば、3行5列）の略マトリックス状に配列された複数（例えば、14個）の露光ヘッド166を備えている。この例では、感光材料150の幅との関係で、3行目には4個の露光ヘッド166を配置した。なお、 m 行目の n 列目に配列された個々の露光ヘッドを示す場合は、露光ヘッド166_{mn}と表記する。

【 0 0 2 0 】

露光ヘッド 1 6 6 による露光エリア 1 6 8 は、副走査方向を短辺とする矩形形状である。従って、ステージ 1 5 2 の移動に伴い、感光材料 1 5 0 には露光ヘッド 1 6 6 毎に帯状の露光済み領域 1 7 0 が形成される。なお、 m 行目の n 列目に配列された個々の露光ヘッドによる露光エリアを示す場合は、露光エリア $1\ 6\ 8_{mn}$ と表記する。

【 0 0 2 1 】

また、図 3 (A) 及び (B) に示すように、帯状の露光済み領域 1 7 0 が副走査方向と直交する方向に隙間無く並ぶように、ライン状に配列された各行の露光ヘッドの各々は、配列方向に所定間隔（露光エリアの長辺の自然数倍、本例では 2 倍）ずらして配置されている。このため、1 行目の露光エリア $1\ 6\ 8_{11}$ と露光エリア $1\ 6\ 8_{12}$ との間の露光できない部分は、2 行目の露光エリア $1\ 6\ 8_{21}$ と 3 行目の露光エリア $1\ 6\ 8_{31}$ とにより露光することができる。

【 0 0 2 2 】

露光ヘッド $1\ 6\ 6_{11} \sim 1\ 6\ 6_{mn}$ 各々は、図 4、図 5 に示すように、入射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する空間光変調素子として、デジタル・マイクロミラー・デバイス (DMD) 5 0 を備えている。この DMD 5 0 は、データ処理部とミラー駆動制御部とを備えた図示しないコントローラに接続されている。このコントローラのデータ処理部では、入力された画像データに基づいて、各露光ヘッド 1 6 6 毎に DMD 5 0 の制御すべき領域内の各マイクロミラーを駆動制御する制御信号を生成する。なお、制御すべき領域については後述する。また、ミラー駆動制御部では、画像データ処理部で生成した制御信号に基づいて、各露光ヘッド 1 6 6 毎に DMD 5 0 の各マイクロミラーの反射面の角度を制御する。なお、反射面の角度の制御に付いては後述する。

【 0 0 2 3 】

DMD 5 0 の光入射側には、光ファイバの出射端部（発光点）が露光エリア 1 6 8 の長辺方向と対応する方向に沿って一列に配列されたレーザ出射部を備えたファイバアレイ光源 6 6、ファイバアレイ光源 6 6 から出射されたレーザ光を補正して DMD 上に集光させるレンズ系 6 7、レンズ系 6 7 を透過したレーザ光を

DMD 5 0 に向けて反射するミラー 6 9 がこの順に配置されている。なお図 4 では、レンズ系 6 7 を概略的に示してある。

【 0 0 2 4 】

上記レンズ系 6 7 は、図 5 に詳しく示すように、ファイバアレイ光源 6 6 から出射したレーザ光を平行光化するコリメーターレンズ 7 1、このコリメーターレンズ 7 1 を通過した光の光路に挿入されたマイクロフライアイレンズ 7 2、このマイクロフライアイレンズ 7 2 と向かい合う状態に配設された別のマイクロフライアイレンズ 7 3、およびこのマイクロフライアイレンズ 7 3 の前方つまりミラー 6 9 側に配置されたフィールドレンズ 7 4 から構成されている。マイクロフライアイレンズ 7 2 および 7 3 は、微小レンズセルが縦横に多数配置されてなるものであり、それらの微小レンズセルの各々を通過した光がそれぞれ DMD 5 0 に互いに重なる状態で入射するので、該 DMD 5 0 を照射する光の光量分布が均一化される。

【 0 0 2 5 】

上記レンズ系 6 7 から出射した光はミラー 6 9 で反射し、T I R プリズム（全反射）プリズム 7 0 を介して DMD 5 0 に照射される。なお図 4 では、この T I R プリズム 7 0 は省略してある。

【 0 0 2 6 】

また、DMD 5 0 の光反射側には、DMD 5 0 で反射されたレーザ光を感光材料 1 5 0 の走査面（被露光面）5 6 上に結像する結像光学系 5 1 が配置されている。この結像光学系 5 1 は、図 4 では概略的に示してあるが、図 5 に詳細を示すように、レンズ系 5 2、5 4 からなる第 1 結像光学系と、レンズ系 5 7、5 8 からなる第 2 結像光学系と、これらの結像光学系の間に挿入されたマイクロレンズアレイ 5 5 と、アパーチャアレイ 5 9 とから構成されている。上記のマイクロレンズアレイ 5 5 は、DMD 5 0 の各画素に対応する多数のマイクロレンズ 5 5 a が配置されてなるものである。またアパーチャアレイ 5 9 は、マイクロレンズアレイ 5 5 の各マイクロレンズ 5 5 a に対応する多数のアパーチャ 5 9 a が形成されてなるものである。

【 0 0 2 7 】

DMD 5 0 は、図 6 に示すように、SRAMセル（メモリセル）6 0 上に、微小ミラー（マイクロミラー）6 2 が支柱により支持されて配置されたものであり、画素（ピクセル）を構成する多数の（例えば、1 0 2 4 個×7 5 6 個）の微小ミラーを格子状に配列して構成されたミラーデバイスである。各ピクセルには、最上部に支柱に支えられたマイクロミラー 6 2 が設けられており、マイクロミラー 6 2 の表面にはアルミニウム等の反射率の高い材料が蒸着されている。なお、マイクロミラー 6 2 の反射率は 9 0 % 以上である。また、マイクロミラー 6 2 の直下には、ヒンジ及びヨークを含む支柱を介して通常の半導体メモリの製造ラインで製造されるシリコンゲートの CMOS の SRAMセル 6 0 が配置されており、全体はモノリシック（一体型）に構成されている。

【 0 0 2 8 】

DMD 5 0 の SRAMセル 6 0 にデジタル信号が書き込まれると、支柱に支えられたマイクロミラー 6 2 が、対角線を中心として DMD 5 0 が配置された基板側に対して $\pm \alpha$ 度（例えば $\pm 1 0$ 度）の範囲で傾けられる。図 7（A）は、マイクロミラー 6 2 がオン状態である $+\alpha$ 度に傾いた状態を示し、図 7（B）は、マイクロミラー 6 2 がオフ状態である $-\alpha$ 度に傾いた状態を示す。従って、画像信号に応じて、DMD 5 0 の各ピクセルにおけるマイクロミラー 6 2 の傾きを、図 6 に示すように制御することによって、DMD 5 0 に入射された光はそれぞれのマイクロミラー 6 2 の傾き方向へ反射される。

【 0 0 2 9 】

なお、図 6 には、DMD 5 0 の一部を拡大し、マイクロミラー 6 2 が $+\alpha$ 度又は $-\alpha$ 度に制御されている状態の一例を示す。それぞれのマイクロミラー 6 2 のオンオフ制御は、DMD 5 0 に接続された図示しないコントローラによって行われる。なお、オフ状態のマイクロミラー 6 2 により光ビームが反射される方向には、光吸収体（図示せず）が配置されている。

【 0 0 3 0 】

また、DMD 5 0 は、その短辺が副走査方向と所定角度 θ （例えば、 $1^\circ \sim 5^\circ$ ）を成すように僅かに傾斜させて配置するのが好ましい。図 8（A）は DMD 5 0 を傾斜させない場合の各マイクロミラーによる反射光像（露光ビーム）5 3

の走査軌跡を示し、図 8 (B) は DMD 5 0 を傾斜させた場合の露光ビーム 5 3 の走査軌跡を示している。

【 0 0 3 1 】

DMD 5 0 には、長手方向にマイクロミラーが多数個（例えば 1 0 2 4 個）配列されたマイクロミラー列が、短手方向に多数組（例えば 7 5 6 組）配列されているが、図 8 (B) に示すように、DMD 5 0 を傾斜させることにより、各マイクロミラーによる露光ビーム 5 3 の走査軌跡（走査線）のピッチ P_1 が、DMD 5 0 を傾斜させない場合の走査線のピッチ P_2 より狭くなり、解像度を大幅に向上させることができる。一方、DMD 5 0 の傾斜角は微小であるので、DMD 5 0 を傾斜させた場合の走査幅 W_2 と、DMD 5 0 を傾斜させない場合の走査幅 W_1 とは略同一である。

【 0 0 3 2 】

また、異なるマイクロミラー列により同じ走査線上が重ねて露光（多重露光）されることになる。このように、多重露光されることで、露光位置の微少量をコントロールすることができ、高精細な露光を実現することができる。また、主走査方向に配列された複数の露光ヘッドの間のつなぎ目を微少量の露光位置制御により段差無くつなぐことができる。

【 0 0 3 3 】

なお、DMD 5 0 を傾斜させる代わりに、各マイクロミラー列を副走査方向と直交する方向に所定間隔ずらして千鳥状に配置しても、同様の効果を得ることができる。

【 0 0 3 4 】

ファイバアレイ光源 6 6 は、図 9 (A) に示すように、複数（例えば、6 個）のレーザモジュール 6 4 を備えており、各レーザモジュール 6 4 には、マルチモード光ファイバ 3 0 の一端が結合されている。マルチモード光ファイバ 3 0 の他端には、コア径がマルチモード光ファイバ 3 0 と同一で且つクラッド径がマルチモード光ファイバ 3 0 より小さい光ファイバ 3 1 が結合され、図 9 (C) に示すように、光ファイバ 3 1 の出射端部（発光点）が副走査方向と直交する主走査方向に沿って 1 列に配列されてレーザ出射部 6 8 が構成されている。なお、図 9 (

D) に示すように、発光点を主走査方向に沿って 2 列に配列することもできる。

【 0 0 3 5 】

光ファイバ 3 1 の出射端部は、図 9 (B) に示すように、表面が平坦な 2 枚の支持板 6 5 に挟み込まれて固定されている。また、光ファイバ 3 1 の光出射側には、光ファイバ 3 1 の端面を保護するために、ガラス等の透明な保護板 6 3 が配置されている。保護板 6 3 は、光ファイバ 3 1 の端面と密着させて配置してもよく、光ファイバ 3 1 の端面が密封されるように配置してもよい。光ファイバ 3 1 の出射端部は、光密度が高く集塵し易く劣化し易いが、保護板 6 3 を配置することにより端面への塵埃の付着を防止することができると共に劣化を遅らせることができる。

【 0 0 3 6 】

この例では、クラッド径が小さい光ファイバ 3 1 の出射端を隙間無く 1 列に配列するために、クラッド径が大きい部分で隣接する 2 本のマルチモード光ファイバ 3 0 の間にマルチモード光ファイバ 3 0 を積み重ね、積み重ねられたマルチモード光ファイバ 3 0 に結合された光ファイバ 3 1 の出射端が、クラッド径が大きい部分で隣接する 2 本のマルチモード光ファイバ 3 0 に結合された光ファイバ 3 1 の 2 つの出射端の間に挟まれるように配列されている。

【 0 0 3 7 】

この光ファイバは、図 1 0 に示すように、クラッド径が大きいマルチモード光ファイバ 3 0 のレーザ光出射側の先端部分に小径部分 3 0 c が形成され、この小径部分 3 0 c に、長さ 1 ~ 3 0 c m のクラッド径が小さい光ファイバ 3 1 が同軸的に結合することにより得ることができる。2 本の光ファイバは、光ファイバ 3 1 の入射端面が、マルチモード光ファイバ 3 0 の出射端面に、両光ファイバの中心軸が一致するように融着されて結合されている。上述した通り、光ファイバ 3 1 のコア 3 1 a の径は、マルチモード光ファイバ 3 0 のコア 3 0 a の径と同じ大きさである。

【 0 0 3 8 】

また、長さが短くクラッド径が大きい光ファイバにクラッド径が小さい光ファイバを融着させた短尺光ファイバを、フェルールや光コネクタ等を介してマルチ

モード光ファイバ 3 0 の出射端に結合してもよい。コネクタ等を用いて着脱可能に結合することで、クラッド径が小さい光ファイバが破損した場合等に先端部分の交換が容易になり、露光ヘッドのメンテナンスに要するコストを低減できる。なお、以下では、光ファイバ 3 1 を、マルチモード光ファイバ 3 0 の出射端部と称する場合がある。

【 0 0 3 9 】

マルチモード光ファイバ 3 0 及び光ファイバ 3 1 としては、ステップインデックス型光ファイバ、グレーテッドインデックス型光ファイバ、及び複合型光ファイバの何れでもよい。例えば、三菱電線工業株式会社製のステップインデックス型光ファイバを用いることができる。本例では、マルチモード光ファイバ 3 0 及び光ファイバ 3 1 は、ステップインデックス型光ファイバであり、マルチモード光ファイバ 3 0 は、クラッド径 = $125\ \mu\text{m}$ 、コア径 = $50\ \mu\text{m}$ 、 $NA = 0.2$ 、入射端面コートの透過率 = 99.5% 以上であり、光ファイバ 3 1 は、クラッド径 = $60\ \mu\text{m}$ 、コア径 = $50\ \mu\text{m}$ 、 $NA = 0.2$ である。

【 0 0 4 0 】

一般に、赤外領域のレーザ光では、光ファイバのクラッド径を小さくすると伝搬損失が増加する。このため、レーザ光の波長帯域に応じて好適なクラッド径が決定されている。しかしながら、波長が短いほど伝搬損失は少なくなり、GaN 系半導体レーザから出射された波長 $405\ \text{nm}$ のレーザ光では、クラッドの厚み $\{(\text{クラッド径} - \text{コア径}) / 2\}$ を $800\ \text{nm}$ の波長帯域の赤外光を伝搬させる場合の $1/2$ 程度、通信用の $1.5\ \mu\text{m}$ の波長帯域の赤外光を伝搬させる場合の約 $1/4$ にしても、伝搬損失は殆ど増加しない。従って、クラッド径を $60\ \mu\text{m}$ と小さくすることができる。

【 0 0 4 1 】

但し、光ファイバ 3 1 のクラッド径は $60\ \mu\text{m}$ には限定されない。従来のファイバ光源に使用されている光ファイバのクラッド径は $125\ \mu\text{m}$ であるが、クラッド径が小さくなるほど焦点深度がより深くなるので、マルチモード光ファイバのクラッド径は $80\ \mu\text{m}$ 以下が好ましく、 $60\ \mu\text{m}$ 以下がより好ましく、 $40\ \mu\text{m}$ 以下が更に好ましい。一方、コア径は少なくとも $3 \sim 4\ \mu\text{m}$ 必要であることか

ら、光ファイバ31のクラッド径は10 μ m以上が好ましい。

【0042】

レーザモジュール64は、図11に示す合波レーザ光源（ファイバ光源）によって構成されている。この合波レーザ光源は、ヒートブロック10上に配列固定された複数（例えば、7個）のチップ状の横マルチモード又はシングルモードのGa_{0.4}N_{0.6}系半導体レーザLD1、LD2、LD3、LD4、LD5、LD6、及びLD7と、Ga_{0.4}N_{0.6}系半導体レーザLD1～LD7の各々に対応して設けられたコリメータレンズ11、12、13、14、15、16、及び17と、1つの集光レンズ20と、1本のマルチモード光ファイバ30と、から構成されている。なお、半導体レーザの個数は7個には限定されない。例えば、クラッド径＝60 μ m、コア径＝50 μ m、NA＝0.2のマルチモード光ファイバには、20個もの半導体レーザ光を入射することが可能であり、露光ヘッドの必要光量を実現して、且つ光ファイバ本数をより減らすことができる。

【0043】

Ga_{0.4}N_{0.6}系半導体レーザLD1～LD7は、発振波長が総て共通（例えば、405 nm）であり、最大出力も総て共通（例えば、マルチモードレーザでは100 mW、シングルモードレーザでは30 mW）である。なお、Ga_{0.4}N_{0.6}系半導体レーザLD1～LD7としては、350 nm～450 nmの波長範囲で、上記の405 nm以外の発振波長を備えるレーザを用いてもよい。

【0044】

上記の合波レーザ光源は、図12及び図13に示すように、他の光学要素と共に、上方が開口した箱状のパッケージ40内に収納されている。パッケージ40は、その開口を閉じるように作成されたパッケージ蓋41を備えており、脱気処理後に封止ガスを導入し、パッケージ40の開口をパッケージ蓋41で閉じることにより、パッケージ40とパッケージ蓋41とにより形成される閉空間（封止空間）内に上記合波レーザ光源が気密封止されている。

【0045】

パッケージ40の底面にはベース板42が固定されており、このベース板42の上面には、前記ヒートブロック10と、集光レンズ20を保持する集光レンズ

ホルダー 4 5 と、マルチモード光ファイバ 3 0 の入射端部を保持するファイバホルダー 4 6 とが取り付けられている。マルチモード光ファイバ 3 0 の出射端部は、パッケージ 4 0 の壁面に形成された開口からパッケージ外に引き出されている。

【 0 0 4 6 】

また、ヒートブロック 1 0 の側面にはコリメータレンズホルダー 4 4 が取り付けられており、コリメータレンズ 1 1 ~ 1 7 が保持されている。パッケージ 4 0 の横壁面には開口が形成され、この開口を通して G a N 系半導体レーザ L D 1 ~ L D 7 に駆動電流を供給する配線 4 7 がパッケージ外に引き出されている。

【 0 0 4 7 】

なお、図 1 3 においては、図の煩雑化を避けるために、複数の G a N 系半導体レーザのうち G a N 系半導体レーザ L D 7 にのみ番号を付し、複数のコリメータレンズのうちコリメータレンズ 1 7 にのみ番号を付している。

【 0 0 4 8 】

図 1 4 は、上記コリメータレンズ 1 1 ~ 1 7 の取り付け部分の正面形状を示すものである。コリメータレンズ 1 1 ~ 1 7 の各々は、非球面を備えた円形レンズの光軸を含む領域を平行な平面で細長く切り取った形状に形成されている。この細長形状のコリメータレンズは、例えば、樹脂又は光学ガラスをモールド成形することによって形成することができる。コリメータレンズ 1 1 ~ 1 7 は、長さ方向が G a N 系半導体レーザ L D 1 ~ L D 7 の発光点の配列方向（図 1 4 の左右方向）と直交するように、上記発光点の配列方向に密接配置されている。

【 0 0 4 9 】

一方、G a N 系半導体レーザ L D 1 ~ L D 7 としては、発光幅が $2 \mu\text{m}$ の活性層を備え、活性層と平行な方向、直角な方向の拡がり角が各々例えば 10° 、 30° の状態で各々レーザビーム B 1 ~ B 7 を発するレーザが用いられている。これら G a N 系半導体レーザ L D 1 ~ L D 7 は、活性層と平行な方向に発光点が 1 列に並ぶように配設されている。

【 0 0 5 0 】

従って、各発光点から発せられたレーザビーム B 1 ~ B 7 は、上述のように細

長形状の各コリメータレンズ 1 1 ~ 1 7 に対して、拡がり角度が大きい方向が長さ方向と一致し、拡がり角度が小さい方向が幅方向（長さ方向と直交する方向）と一致する状態で入射することになる。つまり、各コリメータレンズ 1 1 ~ 1 7 の幅が 1. 1 mm、長さが 4. 6 mm であり、それらに入射するレーザビーム B 1 ~ B 7 の水平方向、垂直方向のビーム径は各々 0. 9 mm、2. 6 mm である。また、コリメータレンズ 1 1 ~ 1 7 の各々は、焦点距離 $f_1 = 3 \text{ mm}$ 、 $NA = 0. 6$ 、レンズ配置ピッチ = 1. 2 5 mm である。

【 0 0 5 1 】

集光レンズ 2 0 は、非球面を備えた円形レンズの光軸を含む領域を平行な平面で細長く切り取って、コリメータレンズ 1 1 ~ 1 7 の配列方向、つまり水平方向に長く、それと直角な方向に短い形状に形成されている。この集光レンズ 2 0 は、焦点距離 $f_2 = 2 3 \text{ mm}$ 、 $NA = 0. 2$ である。この集光レンズ 2 0 も、例えば、樹脂又は光学ガラスをモールド成形することにより形成される。

【 0 0 5 2 】

〔露光装置の動作〕

次に、上記露光装置の動作について説明する。

【 0 0 5 3 】

スキャナ 1 6 2 の各露光ヘッド 1 6 6 において、ファイバレイ光源 6 6 の合波レーザ光源を構成する GaN 系半導体レーザ LD 1 ~ LD 7 の各々から発散光状態で出射したレーザビーム B 1, B 2, B 3, B 4, B 5, B 6, 及び B 7 の各々は、対応するコリメータレンズ 1 1 ~ 1 7 によって平行光化される。平行光化されたレーザビーム B 1 ~ B 7 は、集光レンズ 2 0 によって集光され、マルチモード光ファイバ 3 0 のコア 3 0 a の入射端面に収束する。

【 0 0 5 4 】

本例では、コリメータレンズ 1 1 ~ 1 7 及び集光レンズ 2 0 によって集光光学系が構成され、その集光光学系とマルチモード光ファイバ 3 0 とによって合波光学系が構成されている。即ち、集光レンズ 2 0 によって上述のように集光されたレーザビーム B 1 ~ B 7 が、このマルチモード光ファイバ 3 0 のコア 3 0 a に入射して光ファイバ内を伝搬し、1 本のレーザビーム B に合波されてマルチモード

光ファイバ 3 0 の出射端部に結合された光ファイバ 3 1 から出射する。

【 0 0 5 5 】

各レーザモジュールにおいて、レーザビーム B 1 ～ B 7 のマルチモード光ファイバ 3 0 への結合効率が 0. 8 5 で、Ga N 系半導体レーザ LD 1 ～ LD 7 の各出力が 3 0 mW の場合には、アレイ状に配列された光ファイバ 3 1 の各々について、出力 1 8 0 mW ($= 3 0 \text{ mW} \times 0. 8 5 \times 7$) の合波レーザビーム B を得ることができる。従って、6 本の光ファイバ 3 1 がアレイ状に配列されたレーザ出射部 6 8 での出力は約 1 W ($= 1 8 0 \text{ mW} \times 6$) である。

【 0 0 5 6 】

ファイバアレイ光源 6 6 のレーザ出射部 6 8 には、この通り高輝度の発光点が主走査方向に沿って一列に配列されている。単一の半導体レーザからのレーザ光を 1 本の光ファイバに結合させる従来のファイバ光源は低出力であるため、多数列配列しなければ所望の出力を得ることができなかったが、本例で使用する合波レーザ光源は高出力であるため、少数列、例えば 1 列でも所望の出力を得ることができる。

【 0 0 5 7 】

例えば、半導体レーザと光ファイバを 1 対 1 で結合させた従来のファイバ光源では、通常、半導体レーザとしては出力 3 0 mW (ミリワット) 程度のレーザが使用され、光ファイバとしてはコア径 $5 0 \mu\text{m}$ 、クラッド径 $1 2 5 \mu\text{m}$ 、NA (開口数) 0. 2 のマルチモード光ファイバが使用されているので、約 1 W (ワット) の出力を得ようとするれば、マルチモード光ファイバを 4 8 本 (8×6) 束ねなければならず、発光領域の面積は $0. 6 2 \text{ mm}^2$ ($0. 6 7 5 \text{ mm} \times 0. 9 2 5 \text{ mm}$) であるから、レーザ出射部 6 8 での輝度は $1. 6 \times 1 0^6 \text{ (W/m}^2\text{)}$ 、光ファイバ 1 本当たりの輝度は $3. 2 \times 1 0^6 \text{ (W/m}^2\text{)}$ である。

【 0 0 5 8 】

これに対して本例では、上述した通り、マルチモード光ファイバ 6 本で約 1 W の出力を得ることができ、レーザ出射部 6 8 での発光領域の面積は $0. 0 0 8 1 \text{ mm}^2$ ($0. 3 2 5 \text{ mm} \times 0. 0 2 5 \text{ mm}$) であるから、レーザ出射部 6 8 での輝度は $1 2 3 \times 1 0^6 \text{ (W/m}^2\text{)}$ となり、従来に比べ約 8 0 倍の高輝度化を図る

ことができる。また、光ファイバ 1 本当たりの輝度は 90×10^6 (W/m^2) であり、従来に比べ約 28 倍の高輝度化を図ることができる。

【0059】

ここで、図 15 (A) 及び (B) を参照して、従来の露光ヘッドと本例の露光ヘッドとの焦点深度の違いについて説明する。従来の露光ヘッドのバンドル状ファイバ光源の発光領域の副走査方向の径は 0.675 mm であり、本例の露光ヘッドのファイバレイ光源の発光領域の副走査方向の径は 0.025 mm である。図 15 (A) に示すように、従来の露光ヘッドでは、光源 (バンドル状ファイバ光源) 1 の発光領域が大きいので、DMD 3 へ入射する光束の角度が大きくなり、結果として走査面 5 へ入射する光束の角度が大きくなる。このため、集光方向 (ピント方向のずれ) に対してビーム径が太りやすい。

【0060】

一方、図 15 (B) に示すように、本例の露光ヘッドでは、ファイバレイ光源 66 の発光領域の副走査方向の径が小さいので、レンズ系 67 を通過して DMD 50 へ入射する光束の角度が小さくなり、結果として走査面 56 へ入射する光束の角度が小さくなる。即ち、焦点深度が深くなる。この例では、発光領域の副走査方向の径は従来の約 $1/30$ 倍になっており、略回折限界に相当する焦点深度を得ることができる。従って、微小スポットの露光に好適である。この焦点深度への効果は、露光ヘッドの必要光量が大きいほど顕著であり、有効である。この例では、露光面に投影された 1 画素サイズは $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ である。なお、DMD は反射型の空間光変調素子であるが、図 15 (A) 及び (B) は、光学的な関係を説明するために展開図とした。

【0061】

露光パターンに応じた画像データが、DMD 50 に接続された図示しないコントローラに入力され、コントローラ内のフレームメモリに一旦記憶される。この画像データは、画像を構成する各画素の濃度を 2 値 (ドットの記録の有無) で表したデータである。

【0062】

感光材料 150 を表面に吸着したステージ 152 は、図示しない駆動装置によ

り、ガイド 1 5 8 に沿ってゲート 1 6 0 の上流側から下流側に一定速度で移動される。ステージ 1 5 2 がゲート 1 6 0 下を通過する際に、ゲート 1 6 0 に取り付けられた検知センサ 1 6 4 により感光材料 1 5 0 の先端が検出されると、フレームメモリに記憶された画像データが複数ライン分ずつ順次読み出され、データ処理部で読み出された画像データに基づいて各露光ヘッド 1 6 6 毎に制御信号が生成される。そして、ミラー駆動制御部により、生成された制御信号に基づいて各露光ヘッド 1 6 6 毎に DMD 5 0 のマイクロミラーの各々がオンオフ制御される。

【 0 0 6 3 】

ファイバアレイ光源 6 6 から DMD 5 0 にレーザ光が照射されると、DMD 5 0 のマイクロミラーがオン状態のときに反射されたレーザ光は、レンズ系 5 4、5 8 により感光材料 1 5 0 の被露光面 5 6 上に結像される。このようにして、ファイバアレイ光源 6 6 から出射されたレーザ光が画素毎にオンオフされて、感光材料 1 5 0 が DMD 5 0 の使用画素数と略同数の画素単位（露光エリア 1 6 8）で露光される。また、感光材料 1 5 0 がステージ 1 5 2 と共に一定速度で移動されることにより、感光材料 1 5 0 がスキャナ 1 6 2 によりステージ移動方向と反対の方向に副走査され、各露光ヘッド 1 6 6 毎に帯状の露光済み領域 1 7 0 が形成される。

【 0 0 6 4 】

本実施の形態では、図 5 に示したような結像光学系 5 1 と、マイクロレンズアレイ 5 5 と、アパーチャアレイ 5 9 とを用いていることにより、以下の効果も得られる。

【 0 0 6 5 】

すなわちこの構成においては、DMD 5 0 によりオン方向に反射した光による像が、レンズ系 5 2、5 4 からなる第 1 結像光学系により 3 倍に拡大される。この第 1 結像光学系を通過した光は、該第 1 結像光学系による結像位置に配されたマイクロレンズアレイ 5 5 の各マイクロレンズ 5 5 a により DMD 5 0 の各画素に対応して集光され、アパーチャアレイ 5 9 の対応するアパーチャ 5 9 a を通過する。アパーチャ 5 9 を通過した光による像は、レンズ系 5 7、5 8 からなる第

2 結像光学系によりさらに 1. 6 7 倍に拡大された上で、被露光面 5 6 上に結像、投影される。つまり本実施の形態では、DMD 5 0 でオン方向に反射した光による像が、最終的に 5 倍 ($= 3 \times 1. 6 7$) に拡大して被露光面 5 6 上に結像、投影される。

【 0 0 6 6 】

この結像光学系では、DMD 5 0 で反射した光による像が 5 倍に拡大されて被露光面 5 6 に投影されるので、全体の画像領域が広がる。このとき、マイクロレンズアレイ 5 5 およびアパーチャアレイ 5 9 が配置されていなければ、図 2 5 (A) に示すように、被露光面 5 6 に投影される各ビームスポット B S の 1 画素サイズ (スポットサイズ) が露光エリア 4 6 8 のサイズに応じて大きなものとなり、露光エリア 4 6 8 の M T F (Modulation Transfer Function) 特性、つまりは露光画像の鮮鋭度が低下する。

【 0 0 6 7 】

これに対して、マイクロレンズアレイ 5 5 およびアパーチャアレイ 5 9 を配置した本実施の形態では、DMD 5 0 で反射した光は、マイクロレンズアレイ 5 5 の各マイクロレンズ 5 5 a により DMD 5 0 の各画素に対応して集光される。これにより、図 2 5 (B) に示すように、露光エリアが拡大された場合でも、各ビームスポット B S のスポットサイズを所望の大きさ (例えば、 $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$) に縮小することができ、M T F 特性の低下を防止して高精細な露光を行うことができる。なお、露光エリア 4 6 8 が傾いているのは、画素間の隙間を無くす為に DMD 5 0 を傾けて配置しているからである。

【 0 0 6 8 】

また、マイクロレンズ 5 5 a の収差によるビームの太りがあっても、アパーチャ 5 9 a によって被露光面 5 6 上でのスポットサイズが一定の大きさになるようにビームを整形することができると共に、各画素に対応して設けられたアパーチャ 5 9 a を通過させることにより、隣接する画素間でのクロストークを防止することができる。

【 0 0 6 9 】

次に、結像光学系 5 1 について図 5 を参照してさらに詳しく説明する。第 1 の

結像光学系を構成するレンズ系 5 2、5 4 の焦点距離をそれぞれ f_1 、 f_2 とし、第 2 の結像光学系を構成するレンズ系 5 7、5 8 の焦点距離をそれぞれ f_3 、 f_4 とすると、前述した通り $f_2 = 3 \cdot f_1$ 、 $f_4 = 1.67 \cdot f_3$ である。また本例において DMD 5 0 のマイクロミラーのピッチは $13.7 \mu\text{m}$ であるので、第 1 の結像光学系による結像位置では、 $41.4 \mu\text{m}$ の画素間隔で DMD 5 0 による画像が結像される。ここでは、第 1 の結像光学系の倍率を比較的小さい 3 倍に設定しているため、その歪曲収差は比較的小さいものとなり、そこで上記 DMD 5 0 による画像の画素間隔誤差は $0.5 \mu\text{m}$ 以内に抑えられている。

【0070】

マイクロレンズアレイ 5 5 は、上記の画素間隔に対応させてマイクロレンズ 5 5 a の配置ピッチが $41.4 \mu\text{m}$ のものが用いられて、第 1 の結像光学系による結像位置に配設されている。本例では一例として、マイクロレンズ 5 5 a の焦点距離は $188 \mu\text{m}$ であり、第 1 の結像光学系からの光はこのマイクロレンズ 5 5 a によって、ビーム径 $2.3 \mu\text{m}$ に集光される。上述の通りマイクロレンズ 5 5 a の配置ピッチが $41.4 \mu\text{m}$ であると、第 1 の結像光学系からの光のマイクロレンズ 5 5 a への入射位置が $1 \mu\text{m}$ ずれただけでも、消光比は 1 : 約 40 に悪化する。

【0071】

したがって、第 1 の結像光学系の歪曲収差が大きくて、像のピッチ精度が低いと、消光比が悪化することになる。また、結像光学系からの光ビームに収差があると、DMD 5 0 による像にボケが生じるとともに、同様に消光比も悪化する。本実施の形態では、前述した通り第 1 の結像光学系の倍率を比較的小さい 3 倍としていることにより、その歪曲収差が小さく抑えられ、上記問題の発生を防止可能となっている。

【0072】

一方、レンズ系 5 7、5 8 からなる第 2 の結像光学系の倍率も、比較的小さい 1.67 倍とされているので、マイクロレンズ 5 5 a の集光位置でのビーム径が上述のように $2.3 \mu\text{m}$ と比較的大きくなっているにもかかわらず、被露光面 5 6 上でのビーム径を約 $4 \mu\text{m}$ (ビーム間隔は $68.6 \mu\text{m}$) と十分に小さくして、高精細な画

像を露光することができる。このように、マイクロレンズ 5 5 a の集光位置でのビーム径が比較的大きくてもよいのであれば、結像光学系の許容誤差が大きくなり、その設計が容易化される。

【 0 0 7 3 】

例えば、第 2 の結像光学系だけで 5 倍の倍率を得ようとする、被露光面 5 6 上でのビーム径を約 $4 \mu\text{m}$ にする場合には、マイクロレンズ 5 5 a の集光位置でのビーム径は $0.8 \mu\text{m}$ と非常に小さくする必要がある。そのような結像光学系は許容誤差が小さく、設計が困難なものとなる。

【 0 0 7 4 】

なお、上述した第 1 の結像光学系の倍率を比較的小さく設定することは、この第 1 の結像光学系の NA（開口数）がより大である場合ほど効果的である。以下その点について、図 2 6 と図 2 7 を参照して説明する。図 2 6 は、第 1 の結像光学系を構成するレンズ系 5 2、5 4 と、マイクロレンズアレイ 5 5 のマイクロレンズ 5 5 a を概略的に示している。また同図中の 5 0 M は、DMD 5 0 の 1 つのマイクロミラーを示している。

【 0 0 7 5 】

また図 2 7 は、1 つのマイクロレンズ 5 5 a に入射する光ビームの光量分布を示しているが、ここに直線で示すように光ビームの光量分布の拡がりが少なくなっていれば、あるマイクロレンズ 5 5 a に対して、それに対応するマイクロミラー 5 0 M 以外のマイクロミラー（通常は隣接するマイクロミラー）からの光ビームが入射することがなく、大きな消光比が得られる。そのようにするためには、第 1 の結像光学系の NA を大きくすればよい。それに対して第 1 の結像光学系の NA が小さい場合は、1 つのマイクロレンズ 5 5 a に入射する光ビームの光量分布が図 2 7 に破線で示すように拡がってしまうので、マイクロレンズ 5 5 a の前に、隣接するマイクロミラーからの光を遮蔽する遮蔽部材 S を配置する等の処置が必要になる。

【 0 0 7 6 】

上記の観点からは、第 1 の結像光学系として NA の大きな光学系を採用するのが好ましいが、そのように NA の大きい結像光学系で低収差を実現するのは、N

Aが小さい場合と比べてより困難である。そこで、第2の結像光学系と倍率を分け合って、該第1の結像光学系の倍率を比較的小さくし、前述の歪曲収差を低く抑えることができれば、第1の結像光学系としてよりNAの大きな光学系も採用可能となり、消光比を大きく確保する上で有利となる。

【0077】

なお一般的には、第1の結像光学系のNAが0.2の場合、マイクロレンズ55aの上のエアリーディスク半径は3 μ mであり、これよりもNAを小さくしてエアリーディスク半径を大きくするのは好ましくない。したがって、第1の結像光学系のNAが0.2以上の場合に本発明を適用すれば、低収差を実現する上で特に好ましいと言える。

【0078】

なお本実施の形態では、図16(A)及び(B)に示すように、DMD50には、主走査方向にマイクロミラーが1024個配列されたマイクロミラー列が副走査方向に756組配列されているが、本例では、コントローラにより一部のマイクロミラー列（例えば、1024個 \times 300列）だけが駆動するように制御がなされる。

【0079】

図16(A)に示すように、DMD50の中央部に配置されたマイクロミラー列を使用してもよく、図16(B)に示すように、DMD50の端部に配置されたマイクロミラー列を使用してもよい。また、一部のマイクロミラーに欠陥が発生した場合は、欠陥が発生していないマイクロミラー列を使用するなど、状況に応じて使用するマイクロミラー列を適宜変更してもよい。

【0080】

DMD50のデータ処理速度には限界があり、使用する画素数に比例して1ライン当りの変調速度が決定されるので、一部のマイクロミラー列だけを使用することで1ライン当りの変調速度が速くなる。一方、連続的に露光ヘッドを露光面に対して相対移動させる露光方式の場合には、副走査方向の画素を全部使用する必要はない。

【0081】

例えば、600組のマイクロミラー列の内、300組だけ使用する場合には、600組全部使用する場合と比較すると1ライン当り2倍速く変調することができる。また、600組のマイクロミラー列の内、200組だけ使用する場合には、600組全部使用する場合と比較すると1ライン当り3倍速く変調することができる。即ち、副走査方向に500mmの領域を17秒で露光できる。更に、100組だけ使用する場合には、1ライン当り6倍速く変調することができる。即ち、副走査方向に500mmの領域を9秒で露光できる。

【0082】

使用するマイクロミラー列の数、即ち、副走査方向に配列されたマイクロミラーの個数は、10以上で且つ200以下が好ましく、10以上で且つ100以下がより好ましい。1画素に相当するマイクロミラー1個当りの面積は $15\mu\text{m} \times 15\mu\text{m}$ であるから、DMD50の使用領域に換算すると、 $12\text{mm} \times 150\mu\text{m}$ 以上で且つ $12\text{mm} \times 3\text{mm}$ 以下の領域が好ましく、 $12\text{mm} \times 150\mu\text{m}$ 以上で且つ $12\text{mm} \times 1.5\text{mm}$ 以下の領域がより好ましい。

【0083】

使用するマイクロミラー列の数が上記範囲にあれば、図17(A)及び(B)に示すように、ファイバアレイ光源66から出射されたレーザ光をレンズ系67で略平行光化して、DMD50に照射することができる。DMD50によりレーザ光を照射する照射領域は、DMD50の使用領域と一致することが好ましい。照射領域が使用領域よりも広いとレーザ光の利用効率が低下する。

【0084】

一方、DMD50上に集光させる光ビームの副走査方向の径を、レンズ系67により副走査方向に配列されたマイクロミラーの個数に応じて小さくする必要があるが、使用するマイクロミラー列の数が10未満であると、DMD50に入射する光束の角度が大きくなり、走査面56における光ビームの焦点深度が浅くなるので好ましくない。また、使用するマイクロミラー列の数が200以下が変調速度の観点から好ましい。なお、DMDは反射型の空間光変調素子であるが、図17(A)及び(B)は、光学的な関係を説明するために展開図とした。

【0085】

スキャナ 1 6 2 による感光材料 1 5 0 の副走査が終了し、検知センサ 1 6 4 で感光材料 1 5 0 の後端が検出されると、ステージ 1 5 2 は、図示しない駆動装置により、ガイド 1 5 8 に沿ってゲート 1 6 0 の最上流側にある原点に復帰し、再度、ガイド 1 5 8 に沿ってゲート 1 6 0 の上流側から下流側に一定速度で移動される。

【 0 0 8 6 】

以上説明した通り、本例の露光装置は、主走査方向にマイクロミラーが 1 0 2 4 個配列されたマイクロミラー列が、副走査方向に 7 5 6 組配列されてなる DMD を備えているが、コントローラにより一部のマイクロミラー列だけが駆動されるように制御するので、全部のマイクロミラー列を駆動する場合に比べて、1 ライン当りの変調速度が速くなる。これにより高速での露光が可能になる。

【 0 0 8 7 】

また、DMD を照明する光源に、合波レーザ光源の光ファイバの出射端部をアレイ状に配列した高輝度のファイバアレイ光源を用いているので、高出力で且つ深い焦点深度を備えた露光装置を実現することができる。更に、各ファイバ光源の出力が大きくなることで、所望の出力を得るために必要なファイバ光源数が少なくなり、露光装置の低コスト化が図られる。

【 0 0 8 8 】

特に本例では、光ファイバの出射端のクラッド径を入射端のクラッド径よりも小さくしているので、発光部径がより小さくなり、ファイバアレイ光源の高輝度化が図られる。これにより、より深い焦点深度を備えた露光装置を実現することができる。例えば、ビーム径 $1\ \mu\text{m}$ 以下、解像度 $0.1\ \mu\text{m}$ 以下の超高解像度露光の場合にも、深い焦点深度を得ることができ、高速且つ高精細な露光が可能となる。従って、高解像度が必要とされる薄膜トランジスタ (TFT) の露光工程に好適である。

【 0 0 8 9 】

[他の空間光変調素子]

上記の例では、DMD のマイクロミラーを部分的に駆動する例について説明したが、所定方向に対応する方向の長さが前記所定方向と交差する方向の長さより

長い基板上に、各々制御信号に応じて反射面の角度が変更可能な多数のマイクロミラーが２次元状に配列された細長いDMDを用いても、反射面の角度を制御するマイクロミラーの個数が少なくなるので、同様に変調速度を速くすることができる。

【 0 0 9 0 】

上記の例では、空間光変調素子としてDMDを備えた露光ヘッドについて説明したが、例えば、MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）タイプの空間光変調素子（SLM；Spacial Light Modulator）や、電気光学効果により透過光を変調する光学素子（PLZT素子）や液晶光シャッタ（FLC）等、MEMSタイプ以外の空間光変調素子を用いる場合にも、本発明は適用可能である。

【 0 0 9 1 】

なお、MEMSとは、IC製造プロセスを基盤としたマイクロマシニング技術によるマイクロサイズのセンサ、アクチュエータ、そして制御回路を集積化した微細システムの総称であり、MEMSタイプの空間光変調素子とは、静電気力を利用した電気機械動作により駆動される空間光変調素子を意味している。

【 0 0 9 2 】

〔他の露光方式〕

図１８に示すように、上記例と同様に、スキャナ１６２によるX方向への１回の走査で感光材料１５０の全面を露光してもよく、図１９（Ａ）及び（Ｂ）に示すように、スキャナ１６２により感光材料１５０をX方向へ走査した後、スキャナ１６２をY方向に１ステップ移動し、X方向へ走査を行うというように、走査と移動を繰り返して、複数回の走査で感光材料１５０の全面を露光するようにしてもよい。なお、この例では、スキャナ１６２は１８個の露光ヘッド１６６を備えている。

【 0 0 9 3 】

〔他のレーザ装置（光源）〕

上記の例では、合波レーザ光源を複数備えたファイバアレイ光源を用いる例について説明したが、レーザ装置は、合波レーザ光源をアレイ化したファイバアレイ光源には限定されない。例えば、１個の発光点を有する単一の半導体レーザか

ら入射されたレーザ光を出射する 1 本の光ファイバを備えたファイバ光源をアレイ化したファイバアレイ光源を用いることができる。

【 0 0 9 4 】

また、複数の発光点を備えた光源としては、例えば、図 2 0 に示すように、ヒートブロック 1 0 0 上に、複数（例えば、7 個）のチップ状の半導体レーザ LD 1 ～ LD 7 を配列したレーザアレイを用いることができる。また、図 2 1 (A) に示す、複数（例えば、5 個）の発光点 1 1 0 a が所定方向に配列されたチップ状のマルチキャビティレーザ 1 1 0 が知られている。マルチキャビティレーザ 1 1 0 は、チップ状の半導体レーザを配列する場合と比べ、発光点を位置精度良く配列できるので、各発光点から出射されるレーザビームを合波し易い。但し、発光点が多くなるとレーザ製造時にマルチキャビティレーザ 1 1 0 に撓みが発生し易くなるため、発光点 1 1 0 a の個数は 5 個以下とするのが好ましい。

【 0 0 9 5 】

本例の露光ヘッドでは、このマルチキャビティレーザ 1 1 0 や、図 2 1 (B) に示すように、ヒートブロック 1 0 0 上に、複数のマルチキャビティレーザ 1 1 0 が各チップの発光点 1 1 0 a の配列方向と同じ方向に配列されたマルチキャビティレーザアレイを、レーザ装置（光源）として用いることができる。

【 0 0 9 6 】

また、合波レーザ光源は、複数のチップ状の半導体レーザから出射されたレーザ光を合波するものには限定されない。例えば、図 2 2 に示すように、複数（例えば、3 個）の発光点 1 1 0 a を有するチップ状のマルチキャビティレーザ 1 1 0 を備えた合波レーザ光源を用いることができる。この合波レーザ光源は、マルチキャビティレーザ 1 1 0 と、1 本のマルチモード光ファイバ 1 3 0 と、集光レンズ 1 2 0 と、を備えて構成されている。マルチキャビティレーザ 1 1 0 は、例えば、発振波長が 4 0 5 n m の G a N 系レーザダイオードで構成することができる。

【 0 0 9 7 】

上記の構成では、マルチキャビティレーザ 1 1 0 の複数の発光点 1 1 0 a の各々から出射したレーザビーム B の各々は、集光レンズ 1 2 0 によって集光され、

マルチモード光ファイバ 1 3 0 のコア 1 3 0 a に入射する。コア 1 3 0 a に入射したレーザ光は、光ファイバ内を伝搬し、1 本に合波されて出射する。

【 0 0 9 8 】

マルチキャビティレーザ 1 1 0 の複数の発光点 1 1 0 a を、上記マルチモード光ファイバ 1 3 0 のコア径と略等しい幅内に並設すると共に、集光レンズ 1 2 0 として、マルチモード光ファイバ 1 3 0 のコア径と略等しい焦点距離の凸レンズや、マルチキャビティレーザ 1 1 0 からの出射ビームをその活性層に垂直な面内のみでコリメートするロッドレンズを用いることにより、レーザビーム B のマルチモード光ファイバ 1 3 0 への結合効率を上げることができる。

【 0 0 9 9 】

また、図 2 3 に示すように、複数（例えば、3 個）の発光点を備えたマルチキャビティレーザ 1 1 0 を用い、ヒートブロック 1 1 1 上に複数（例えば、9 個）のマルチキャビティレーザ 1 1 0 が互いに等間隔で配列されたレーザアレイ 1 4 0 を備えた合波レーザ光源を用いることができる。複数のマルチキャビティレーザ 1 1 0 は、各チップの発光点 1 1 0 a の配列方向と同じ方向に配列されて固定されている。

【 0 1 0 0 】

この合波レーザ光源は、レーザアレイ 1 4 0 と、各マルチキャビティレーザ 1 1 0 に対応させて配置した複数のレンズアレイ 1 1 4 と、レーザアレイ 1 4 0 と複数のレンズアレイ 1 1 4 との間に配置された 1 本のロッドレンズ 1 1 3 と、1 本のマルチモード光ファイバ 1 3 0 と、集光レンズ 1 2 0 と、を備えて構成されている。レンズアレイ 1 1 4 は、マルチキャビティレーザ 1 1 0 の発光点に対応した複数のマイクロレンズを備えている。

【 0 1 0 1 】

上記の構成では、複数のマルチキャビティレーザ 1 1 0 の複数の発光点 1 0 a の各々から出射したレーザビーム B の各々は、ロッドレンズ 1 1 3 により所定方向に集光された後、レンズアレイ 1 1 4 の各マイクロレンズにより平行光化される。平行光化されたレーザビーム L は、集光レンズ 1 2 0 によって集光され、マルチモード光ファイバ 1 3 0 のコア 1 3 0 a に入射する。コア 1 3 0 a に入射し

たレーザ光は、光ファイバ内を伝搬し、1本に合波されて出射する。

【0102】

更に他の合波レーザ光源の例を示す。この合波レーザ光源は、図24（A）及び（B）に示すように、略矩形状のヒートブロック180上に光軸方向の断面がL字状のヒートブロック182が搭載され、2つのヒートブロック間に収納空間が形成されている。L字状のヒートブロック182の上面には、複数の発光点（例えば、5個）がアレイ状に配列された複数（例えば、2個）のマルチキャビティレーザ110が、各チップの発光点110aの配列方向と同じ方向に等間隔で配列されて固定されている。

【0103】

略矩形状のヒートブロック180には凹部が形成されており、ヒートブロック180の空間側上面には、複数の発光点（例えば、5個）がアレイ状に配列された複数（例えば、2個）のマルチキャビティレーザ110が、その発光点がヒートブロック182の上面に配置されたレーザチップの発光点と同じ鉛直面上に位置するように配置されている。

【0104】

マルチキャビティレーザ110のレーザ光出射側には、各チップの発光点110aに対応してコリメートレンズが配列されたコリメートレンズアレイ184が配置されている。コリメートレンズアレイ184は、各コリメートレンズの長さ方向とレーザビームの拡がり角が大きい方向（速軸方向）とが一致し、各コリメートレンズの幅方向が拡がり角が小さい方向（遅軸方向）と一致するように配置されている。このように、コリメートレンズをアレイ化して一体化することで、レーザ光の空間利用効率が向上し合波レーザ光源の高出力化が図られると共に、部品点数が減少し低コスト化することができる。

【0105】

また、コリメートレンズアレイ184のレーザ光出射側には、1本のマルチモード光ファイバ130と、このマルチモード光ファイバ130の入射端にレーザビームを集光して結合する集光レンズ120と、が配置されている。

【0106】

上記の構成では、レーザブロック 1 8 0、1 8 2 上に配置された複数のマルチキャビティレーザ 1 1 0 の複数の発光点 1 0 a の各々から出射したレーザビーム B の各々は、コリメートレンズアレイ 1 8 4 により平行光化され、集光レンズ 1 2 0 によって集光されて、マルチモード光ファイバ 1 3 0 のコア 1 3 0 a に入射する。コア 1 3 0 a に入射したレーザ光は、光ファイバ内を伝搬し、1 本に合波されて出射する。

【0 1 0 7】

この合波レーザ光源は、上記の通り、マルチキャビティレーザの多段配置とコリメートレンズのアレイ化とにより、特に高出力化を図ることができる。この合波レーザ光源を用いることにより、より高輝度なファイバアレイ光源やバンドルファイバ光源を構成することができるので、露光装置のレーザ光源を構成するファイバ光源として特に好適である。

【0 1 0 8】

なお、上記の各合波レーザ光源をケーシング内に収納し、マルチモード光ファイバ 1 3 0 の出射端部をそのケーシングから引き出したレーザモジュールを構成することができる。

【0 1 0 9】

また、上記の例では、合波レーザ光源のマルチモード光ファイバの出射端に、コア径がマルチモード光ファイバと同一で且つクラッド径がマルチモード光ファイバより小さい他の光ファイバを結合してファイバアレイ光源の高輝度化を図る例について説明したが、例えば、クラッド径が $125\mu\text{m}$ 、 $80\mu\text{m}$ 、 $60\mu\text{m}$ 等のマルチモード光ファイバを、出射端に他の光ファイバを結合せずに使用してもよい。

【0 1 1 0】

以上、画像露光装置として形成された実施の形態について説明したが、本発明はこの種の画像露光装置のみならず、その他例えば、スクリーンに画像を投影表示するプロジェクタ等に対しても適用可能であり、そのような場合にも前述した本発明の効果を同様に奏するものである。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の一実施の形態による露光装置の外観を示す斜視図

【図 2】

図 1 の露光装置のスキマナの構成を示す斜視図

【図 3】

(A) は感光材料に形成される露光済み領域を示す平面図、(B) は各露光ヘッドによる露光エリアの配列を示す図

【図 4】

図 1 の露光装置の露光ヘッドの概略構成を示す斜視図

【図 5】

図 4 に示す露光ヘッドの構成を示す光軸に沿った副走査方向の断面図

【図 6】

デジタルマイクロミラーデバイス (DMD) の構成を示す部分拡大図

【図 7】

(A) 及び (B) は DMD の動作を説明するための説明図

【図 8】

(A) 及び (B) は、DMD を傾斜配置しない場合と傾斜配置する場合とで、露光ビームの配置及び走査線を比較して示す平面図

【図 9】

(A) はファイバレイ光源の構成を示す斜視図、(B) は (A) の部分拡大図、(C) 及び (D) はレーザ出射部における発光点の配列を示す平面図

【図 10】

マルチモード光ファイバの構成を示す図

【図 11】

合波レーザ光源の構成を示す平面図

【図 12】

レーザモジュールの構成を示す平面図

【図 13】

図 12 に示すレーザモジュールの構成を示す側面図

【図 1 4】

図 1 2 に示すレーザモジュールの構成を示す部分側面図

【図 1 5】

(A) 及び (B) は、従来の露光装置における焦点深度と図 1 の露光装置における焦点深度との相違を示す光軸に沿った断面図

【図 1 6】

(A) 及び (B) は、DMD の使用領域の例を示す図

【図 1 7】

(A) は DMD の使用領域が適正である場合の側面図、(B) は (A) の光軸に沿った副走査方向の断面図

【図 1 8】

スキャナによる 1 回の走査で感光材料を露光する露光方式を説明するための平面図

【図 1 9】

(A) 及び (B) はスキャナによる複数回の走査で感光材料を露光する露光方式を説明するための平面図

【図 2 0】

レーザアレイの構成を示す斜視図

【図 2 1】

(A) はマルチキャビティレーザの構成を示す斜視図、(B) は (A) に示すマルチキャビティレーザをアレイ状に配列したマルチキャビティレーザアレイの斜視図

【図 2 2】

合波レーザ光源の他の構成を示す平面図

【図 2 3】

合波レーザ光源の他の構成を示す平面図

【図 2 4】

(A) は合波レーザ光源の他の構成を示す平面図、(B) は (A) の光軸に沿った断面図

【図 2 5】

(A) はマイクロレンズアレイ等を使用しない場合に被露光面に投影される光像を示す概略図、(B) はマイクロレンズアレイ等を使用した場合に被露光面に投影される光像を示す概略図

【図 2 6】

図 1 の露光装置に用いられた光学系の一部を示す側面図

【図 2 7】

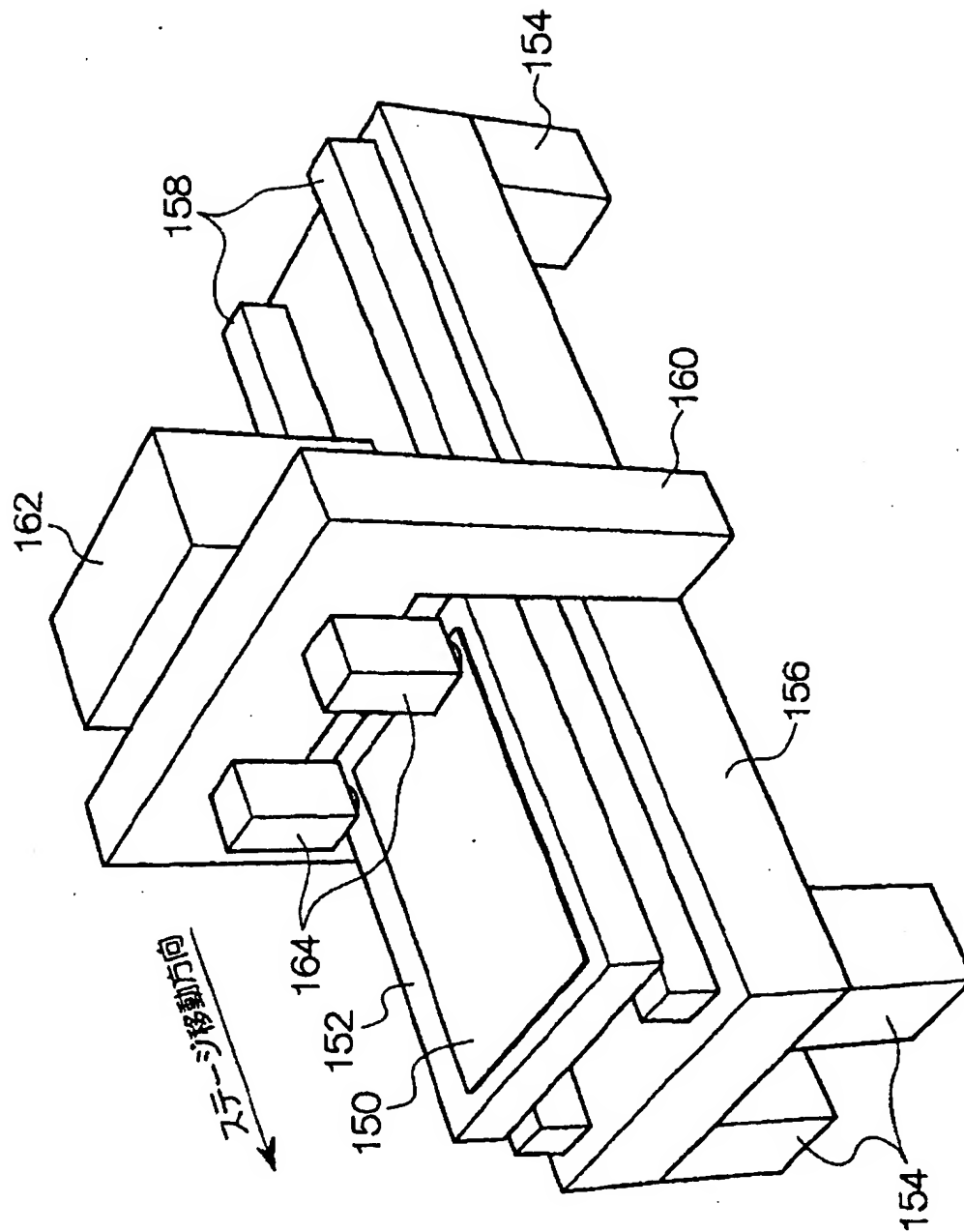
図 2 6 の光学系を経てマイクロレンズアレイに入射する光ビームの光量分布を説明する図

【符号の説明】

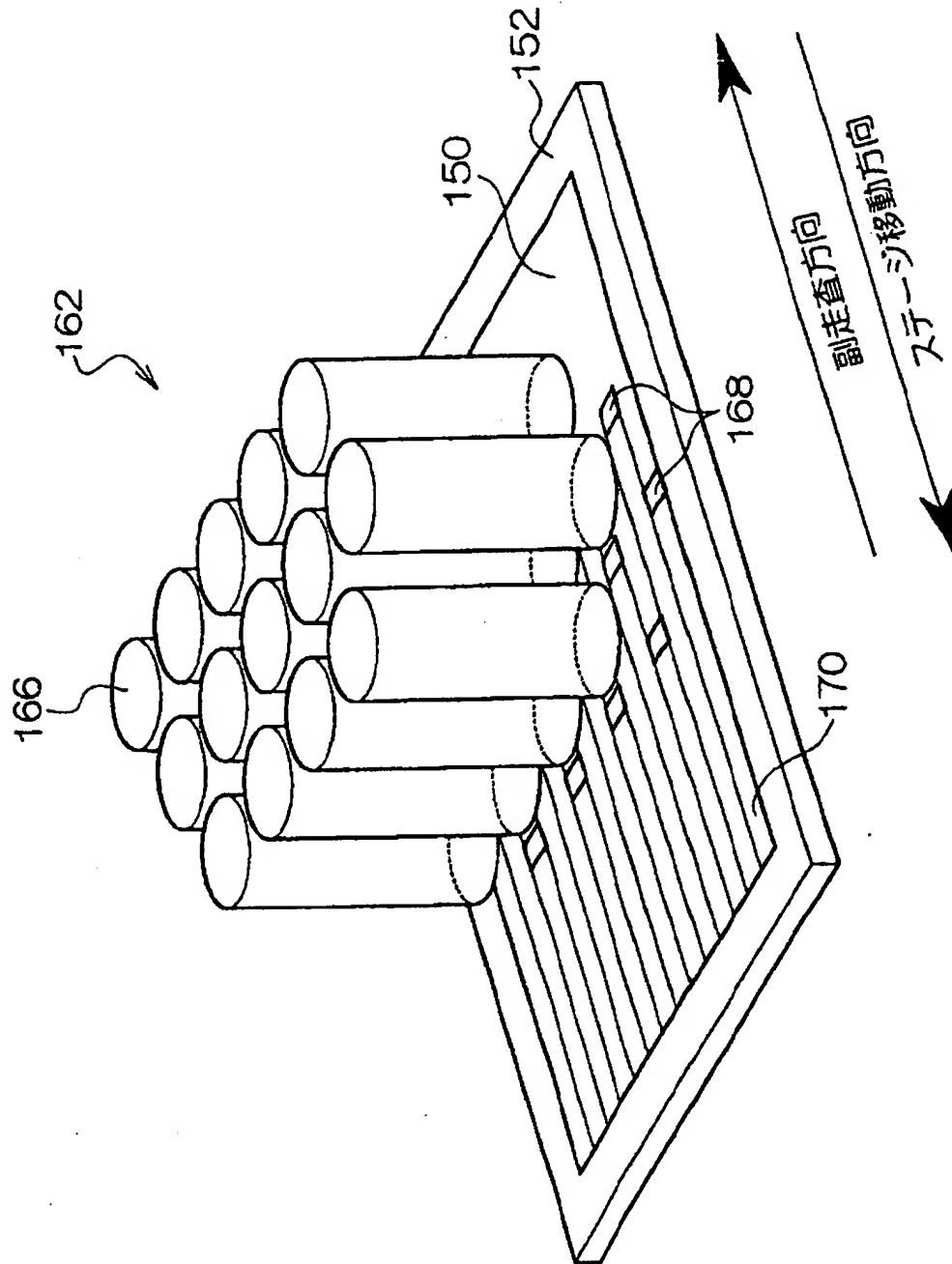
- LD 1 ～ LD 7 GaN 系半導体レーザー
- 3 0、3 1 マルチモード光ファイバ
- 5 0 デジタル・マイクロミラー・デバイス (DMD)
- 5 1 拡大結像光学系
- 5 3、5 4 第 1 結像光学系のレンズ
- 5 5 マイクロレンズアレイ
- 5 7、6 8 第 2 結像光学系のレンズ
- 5 9 アパーチャアレイ
- 6 4 レーザモジュール
- 6 6 ファイバアレイ光源
- 6 8 レーザ出射部
- 1 5 0 感光材料
- 1 5 2 ステージ
- 1 6 2 スキャナ
- 1 6 6 露光ヘッド
- 1 6 8 露光エリア
- 1 7 0 露光済み領域

【書類名】 図面

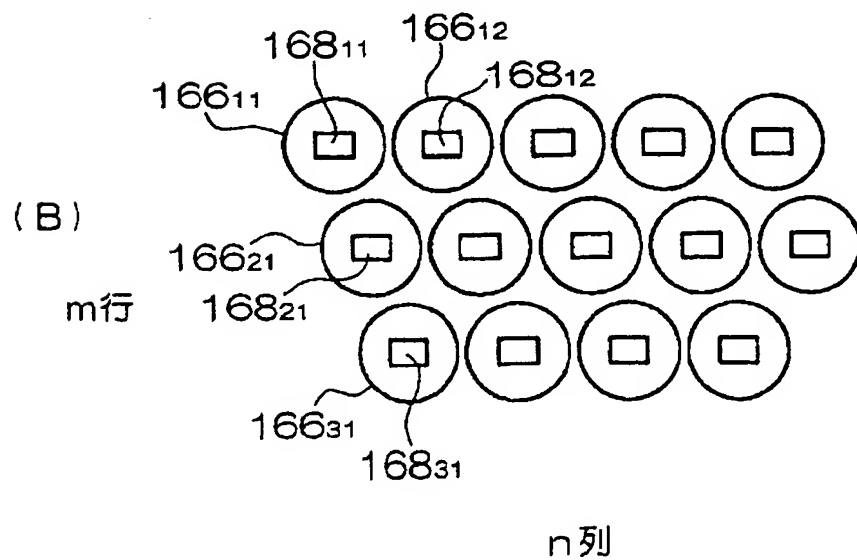
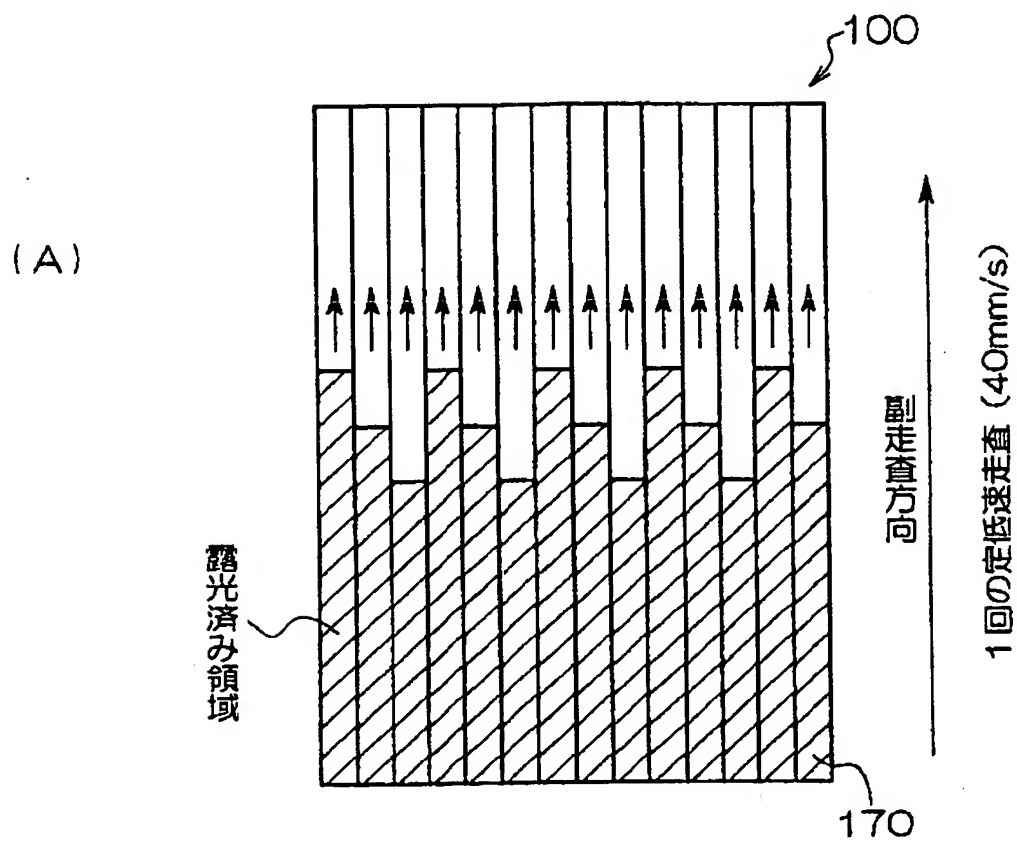
【図 1】



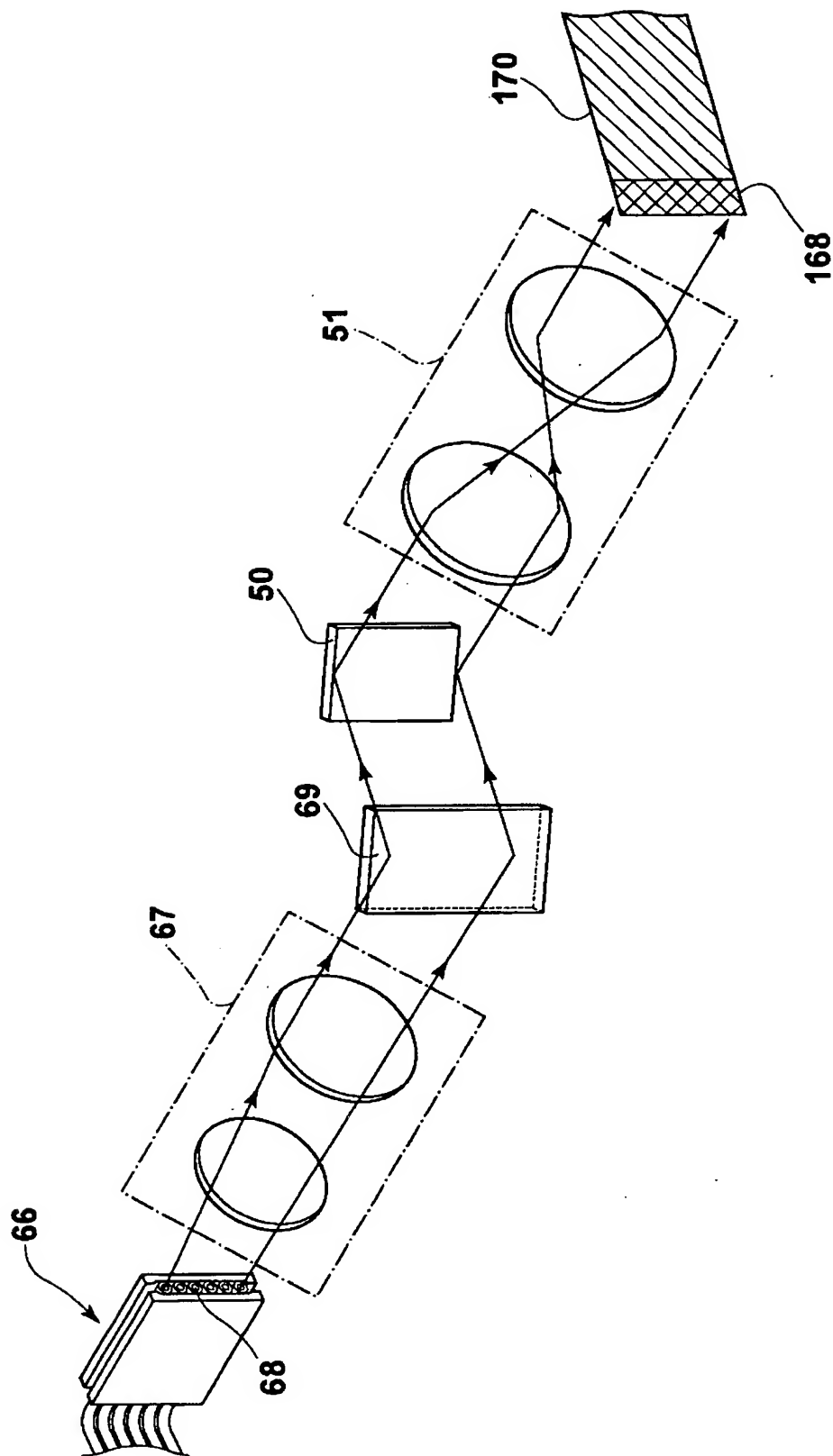
【図 2】



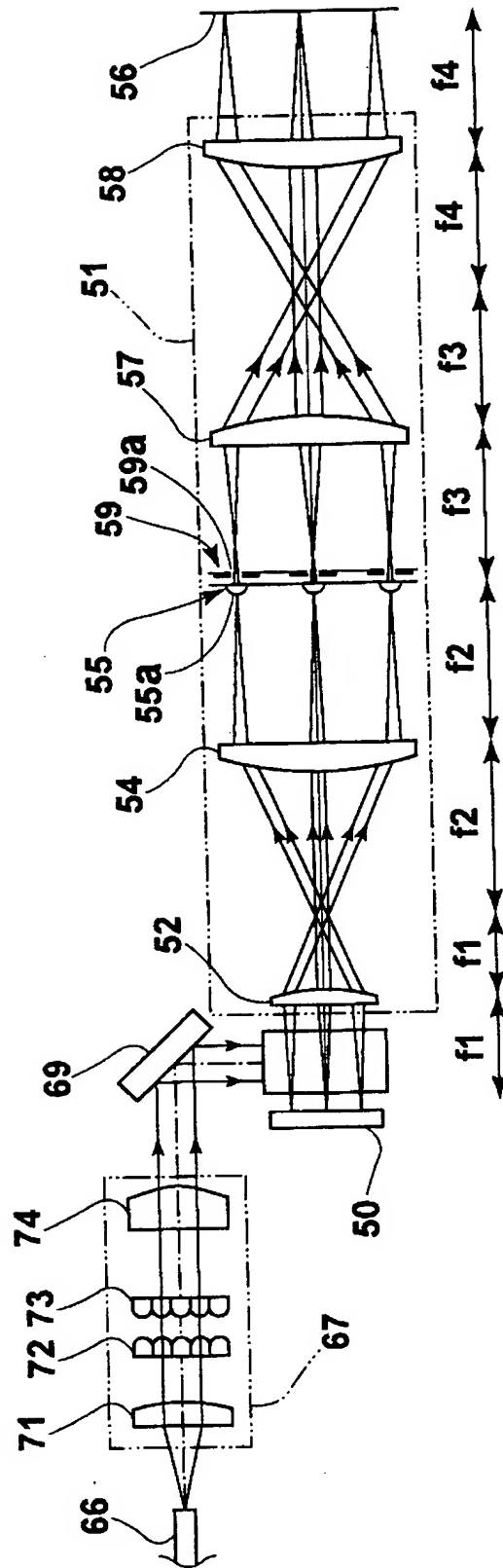
【図 3】



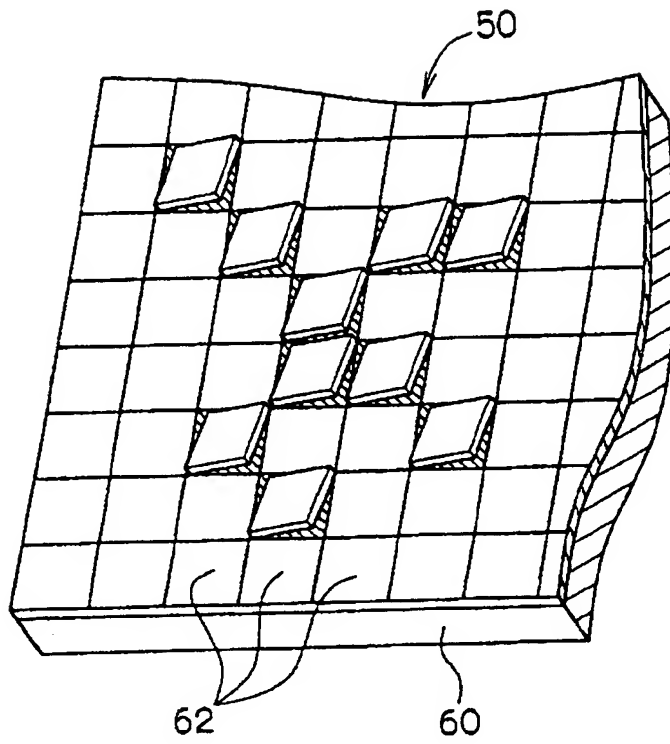
【図 4】



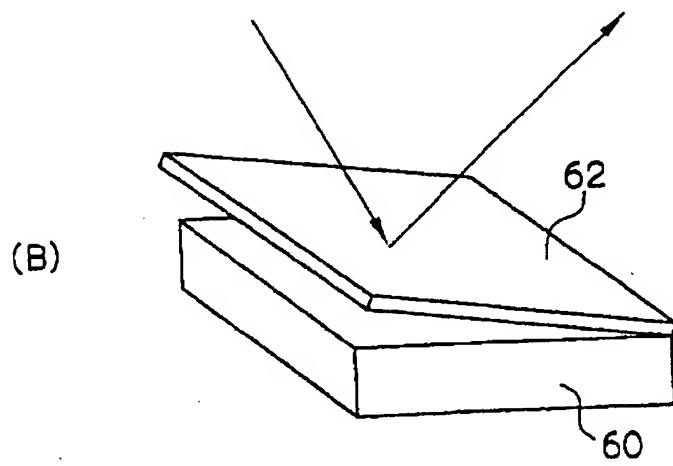
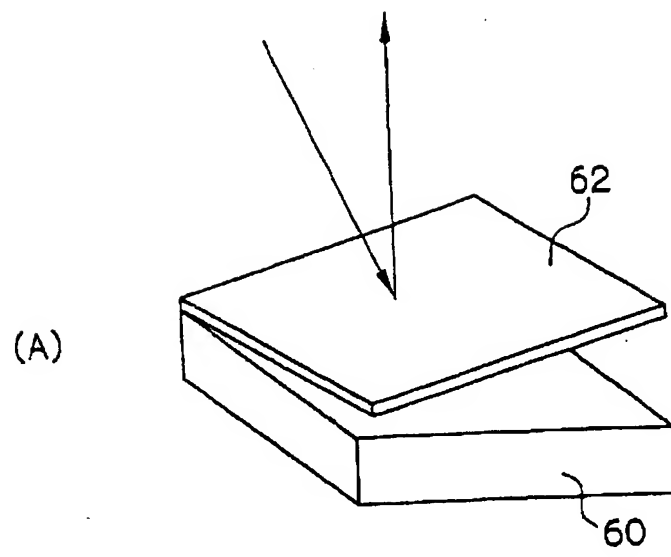
【図 5】



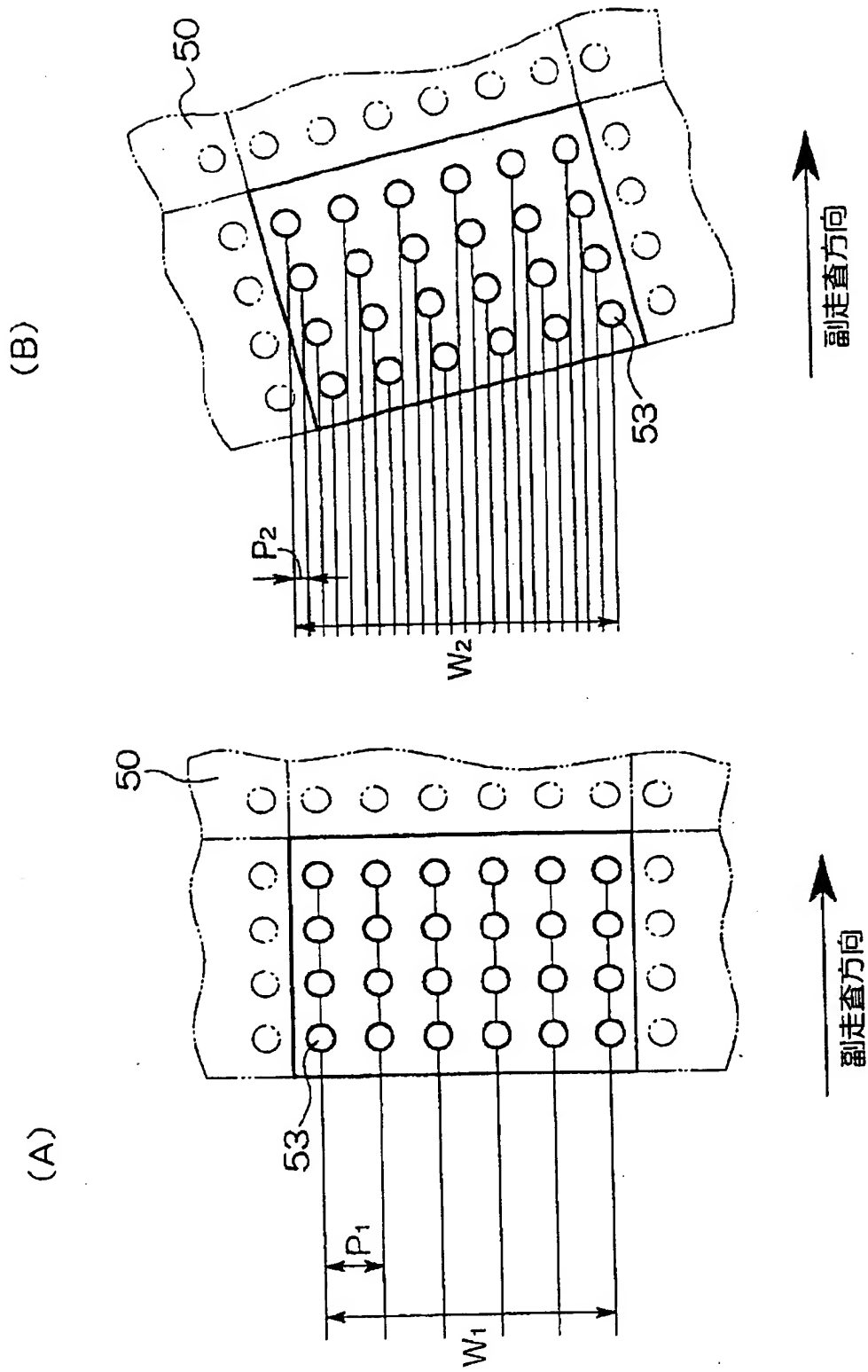
【図 6】



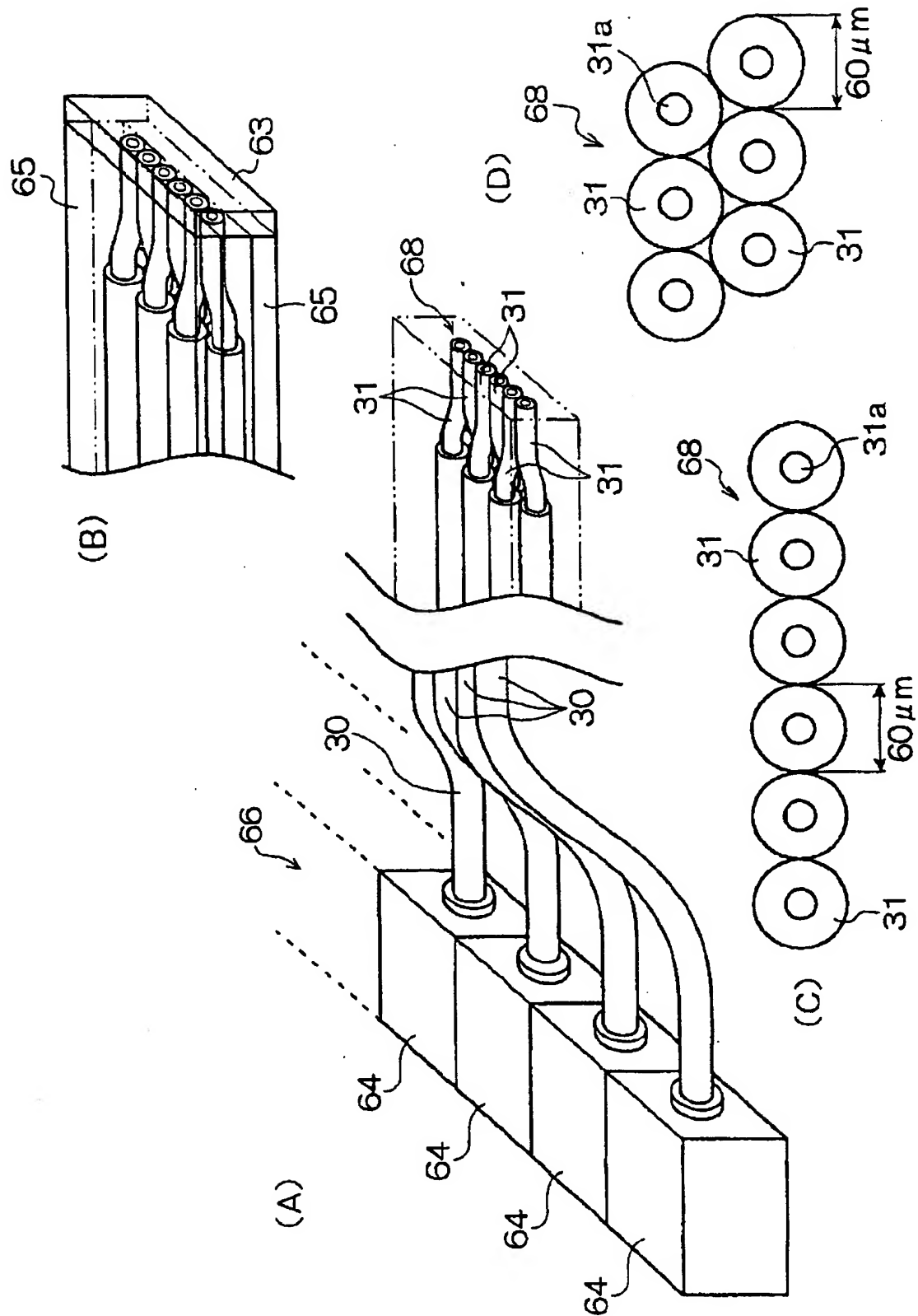
【図 7】



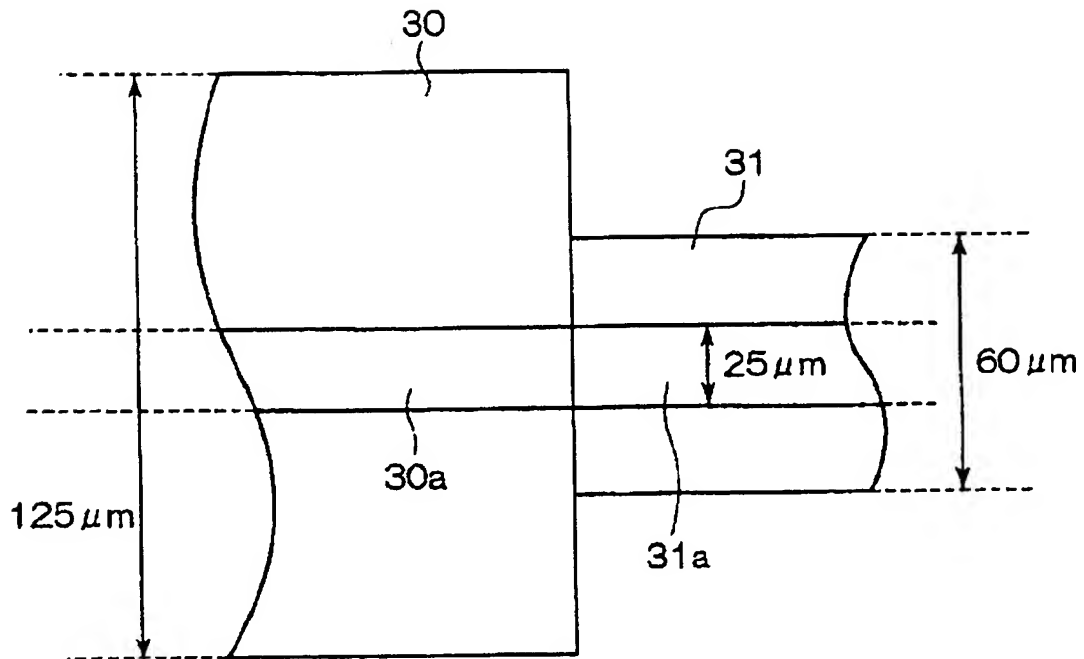
【図 8】



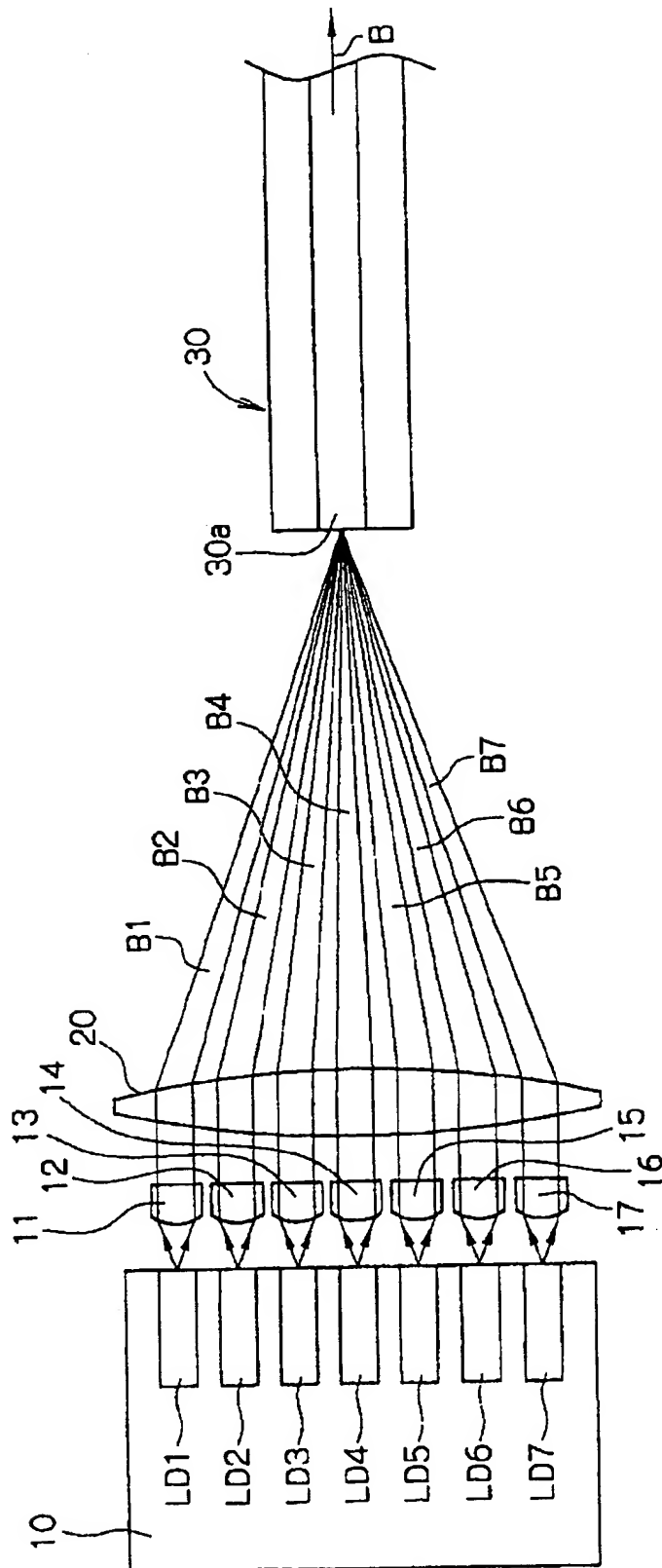
【図9】



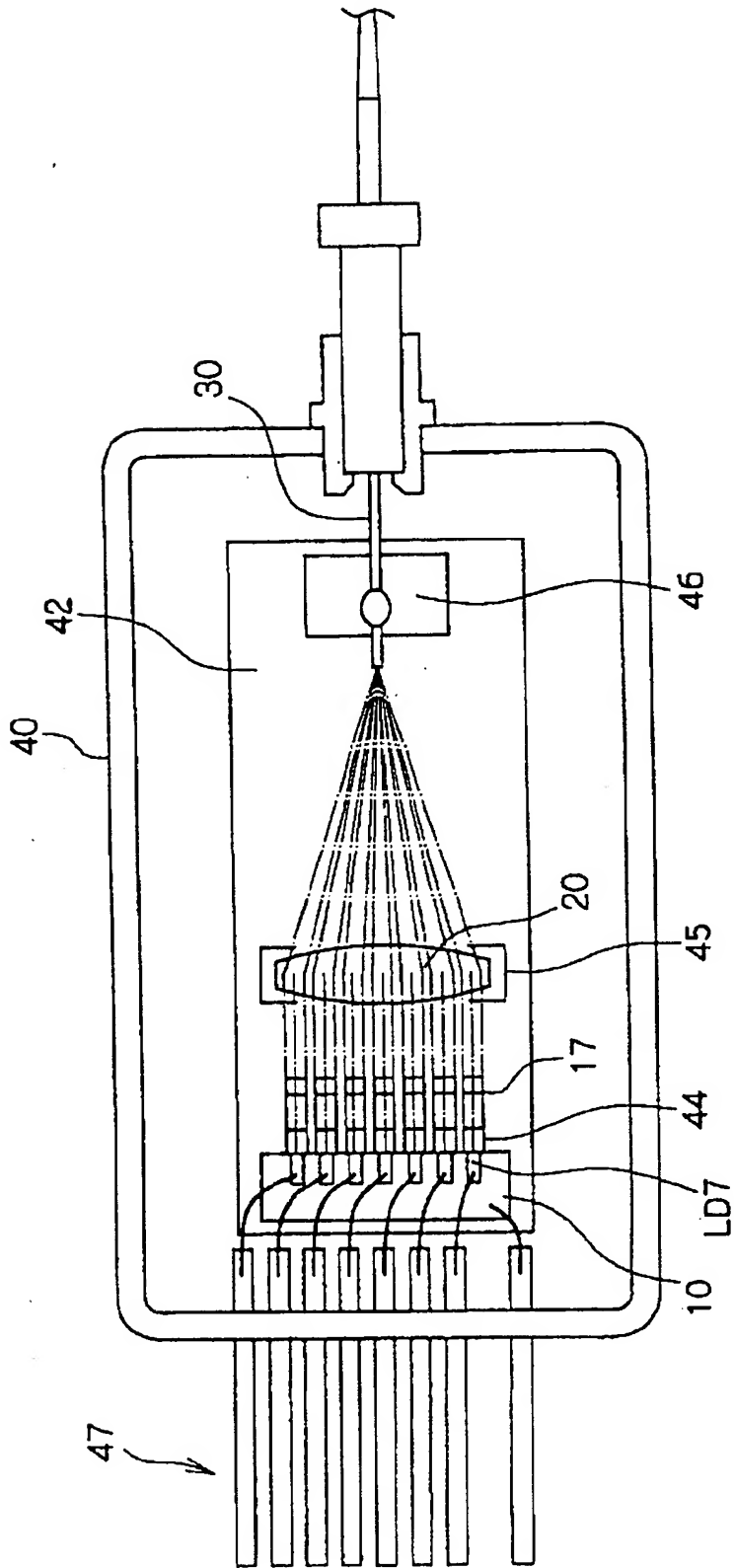
【図 1 0】



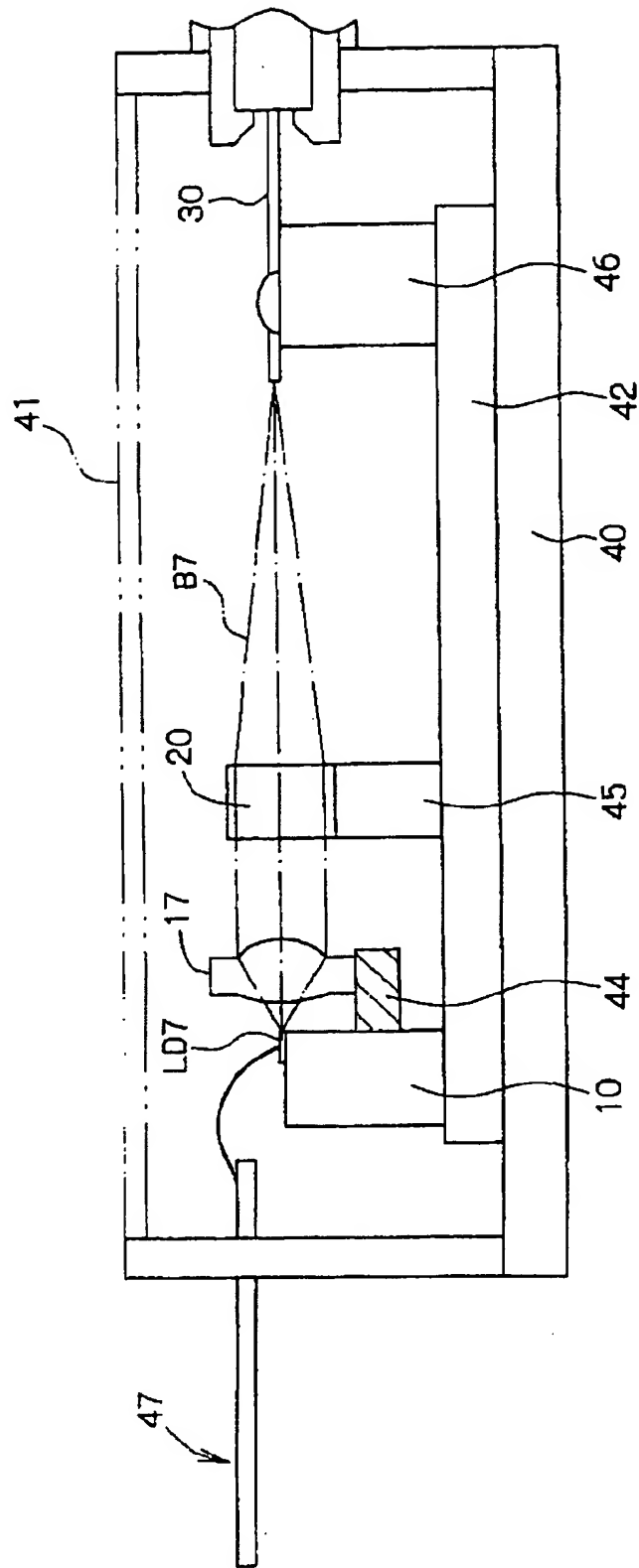
【図 11】



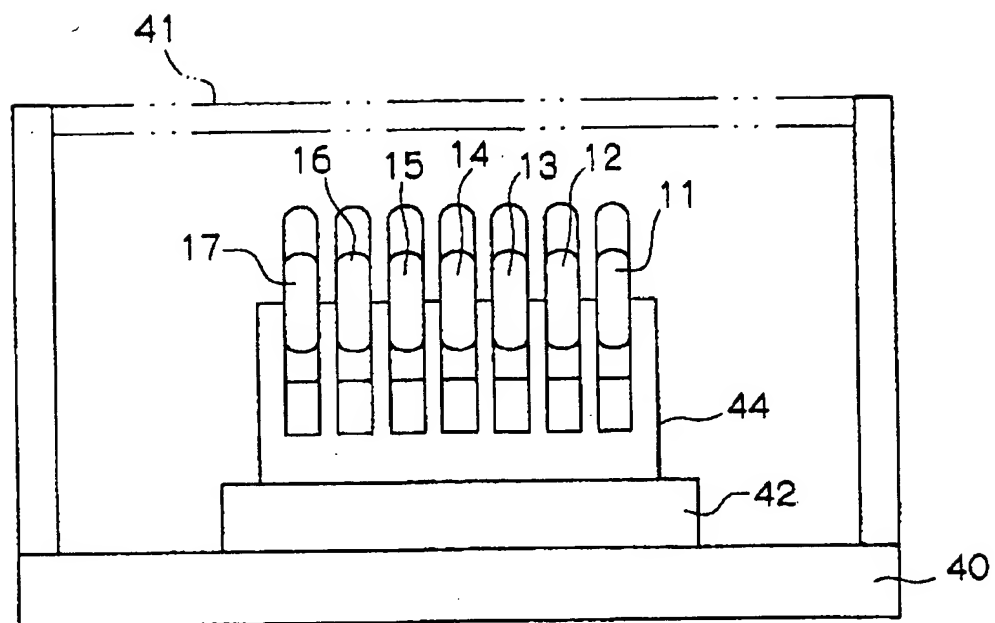
【図12】



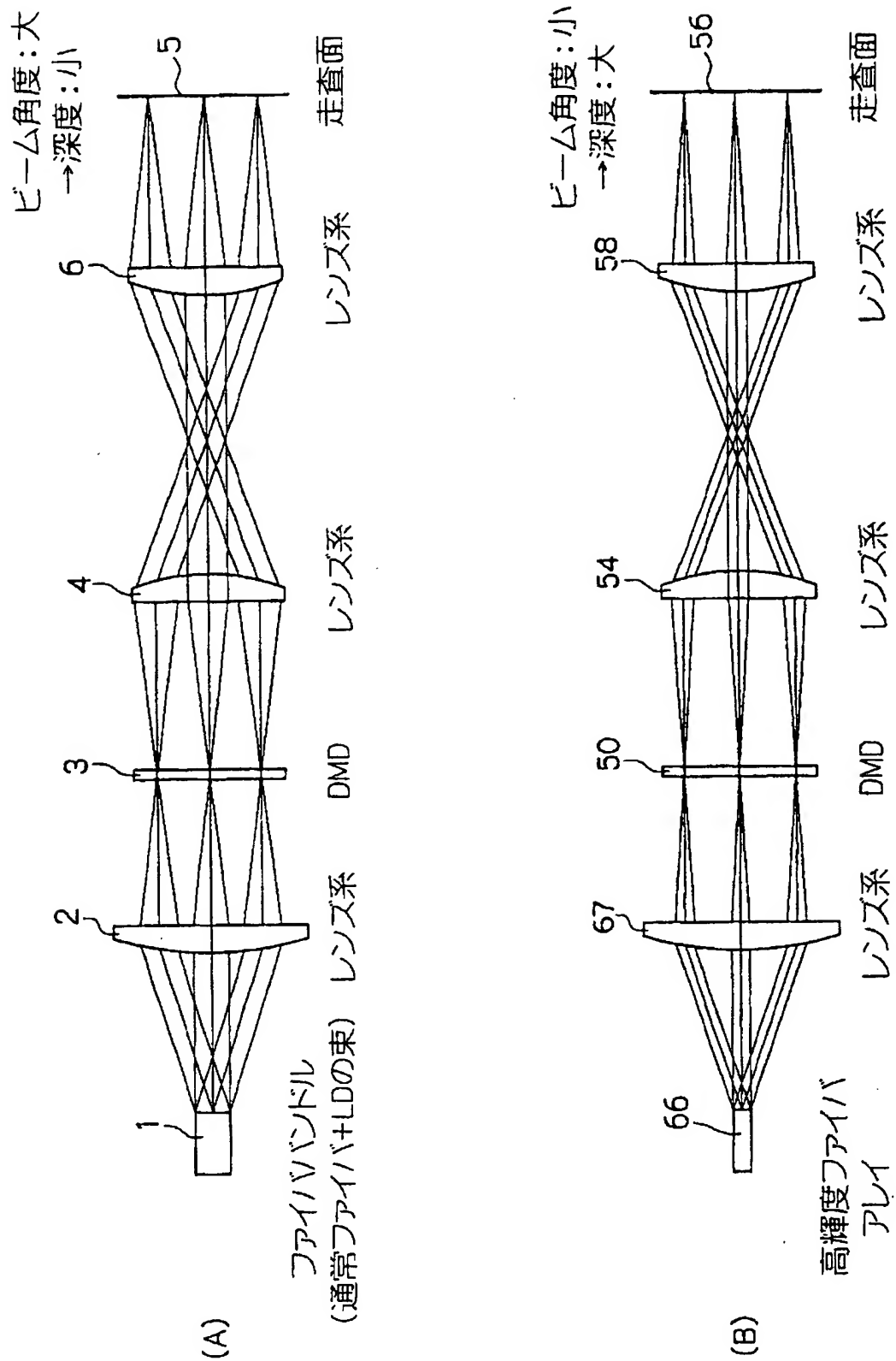
【图 13】



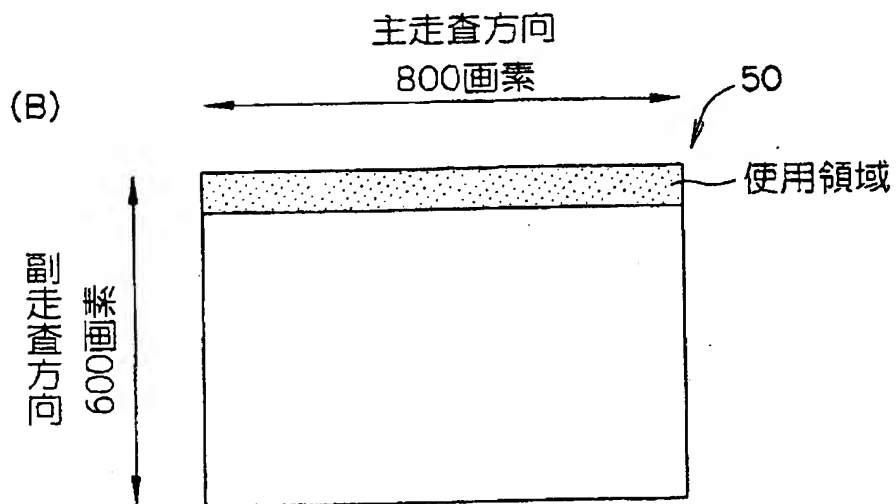
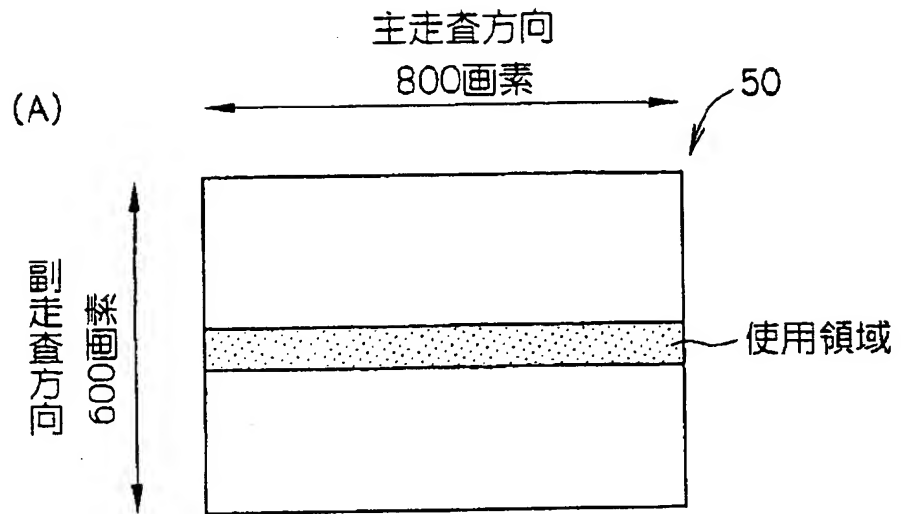
【図 1 4】



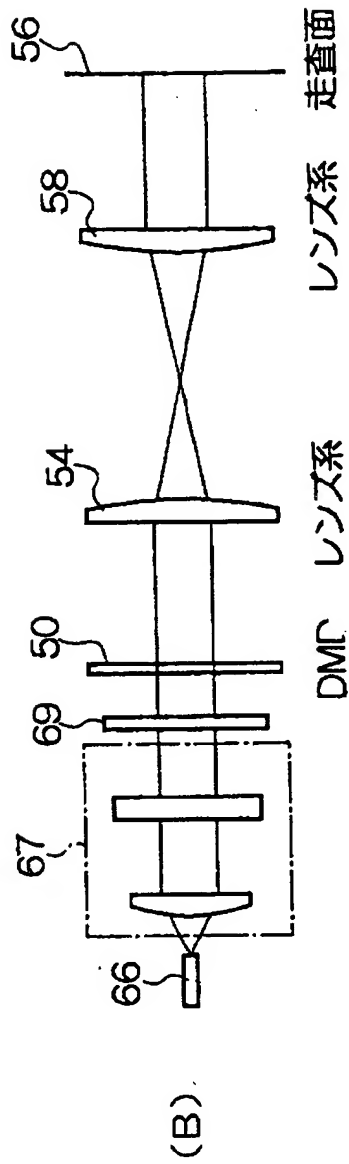
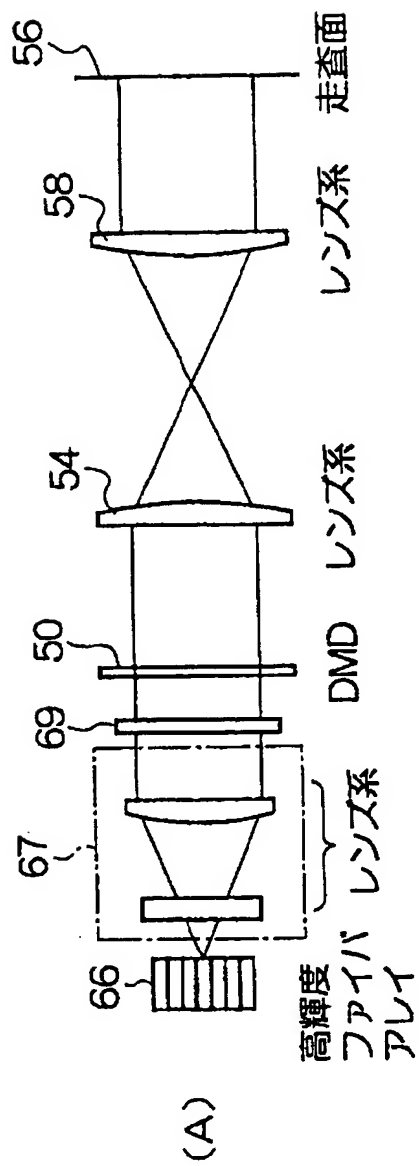
【図15】



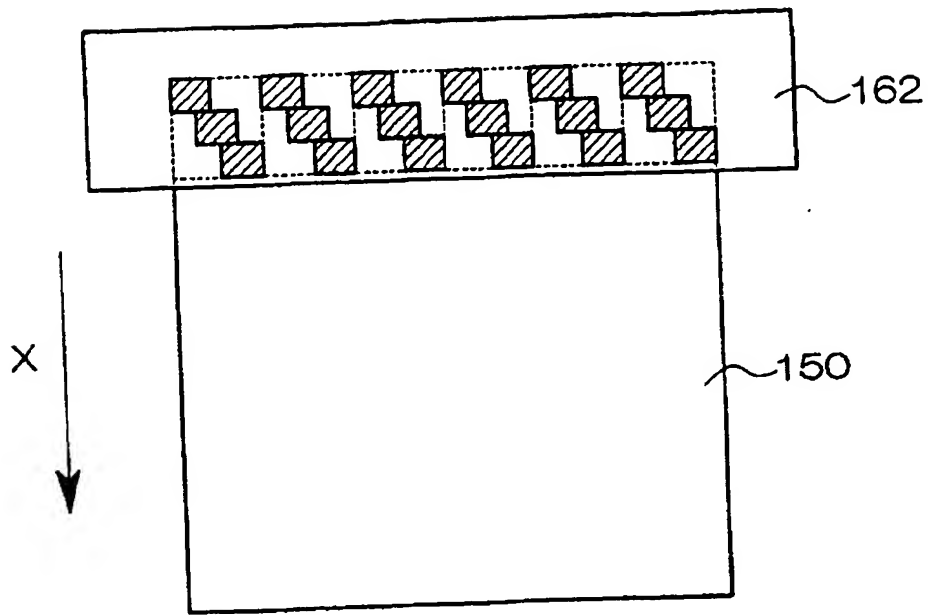
【図 1 6】



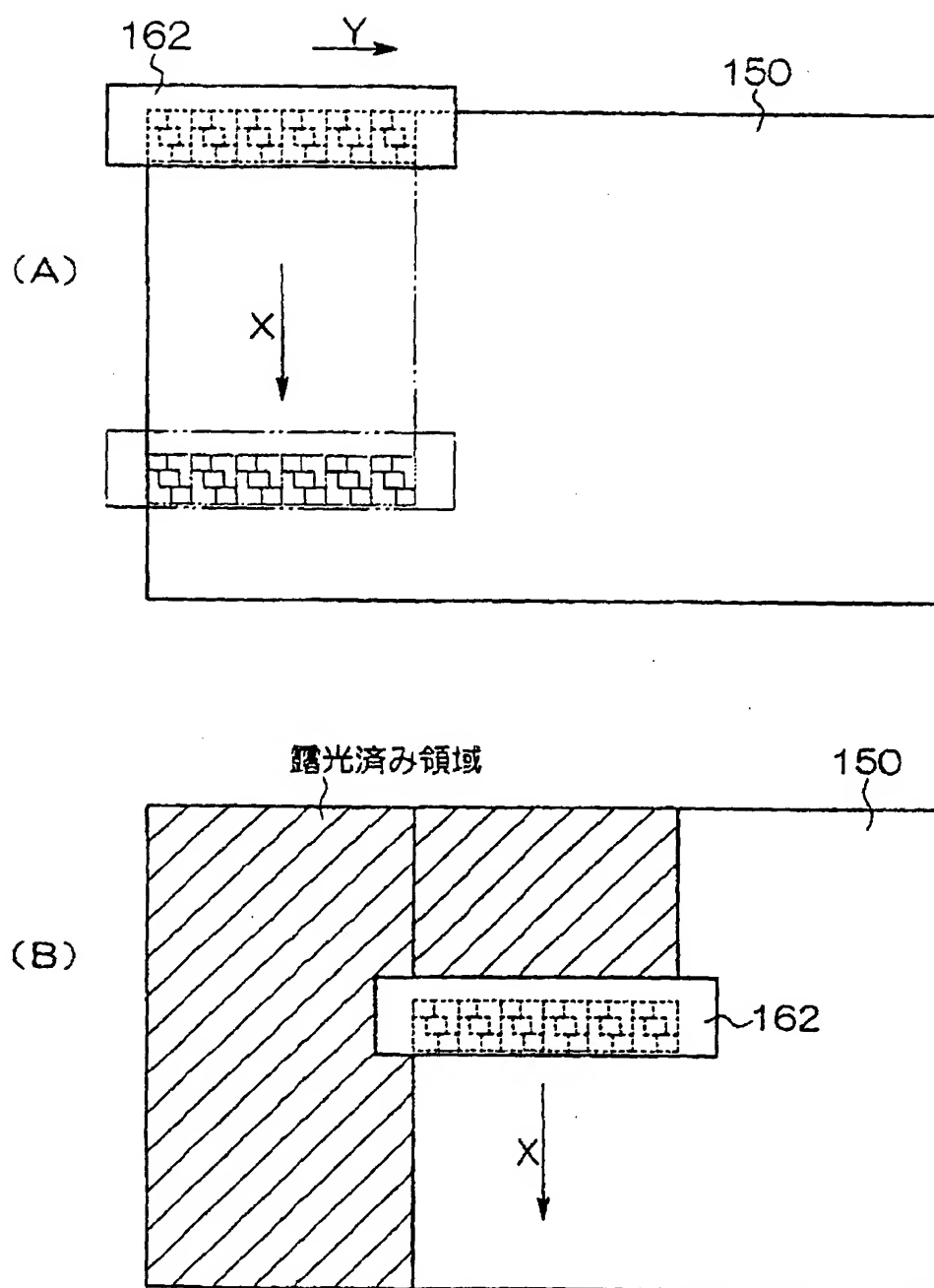
【図17】



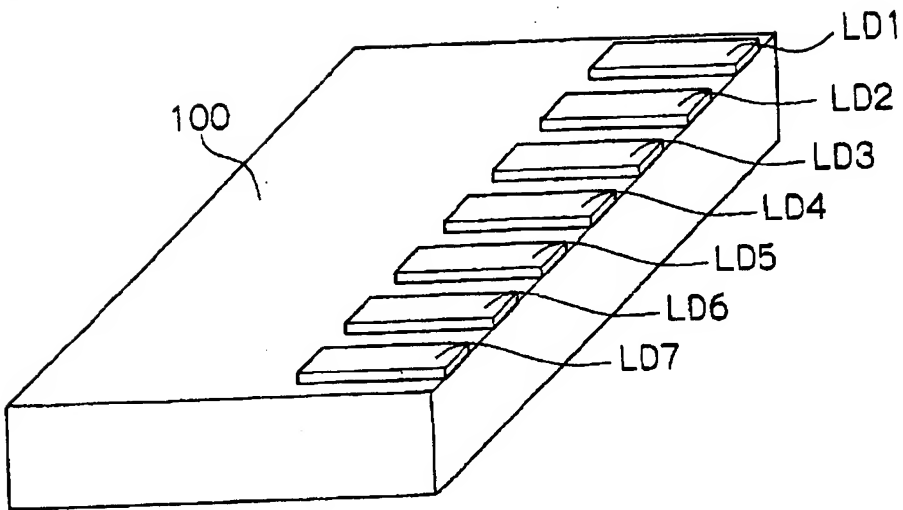
【図 1 8】



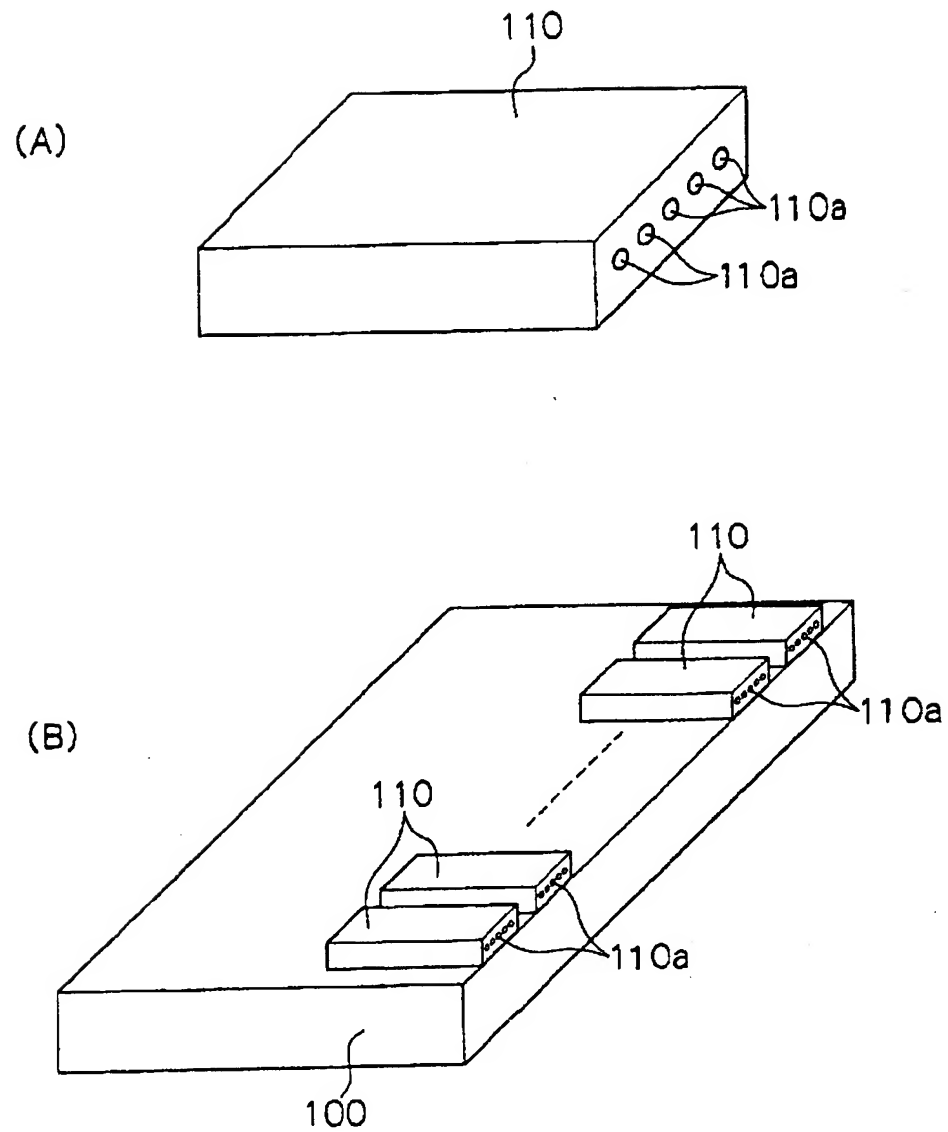
【図19】



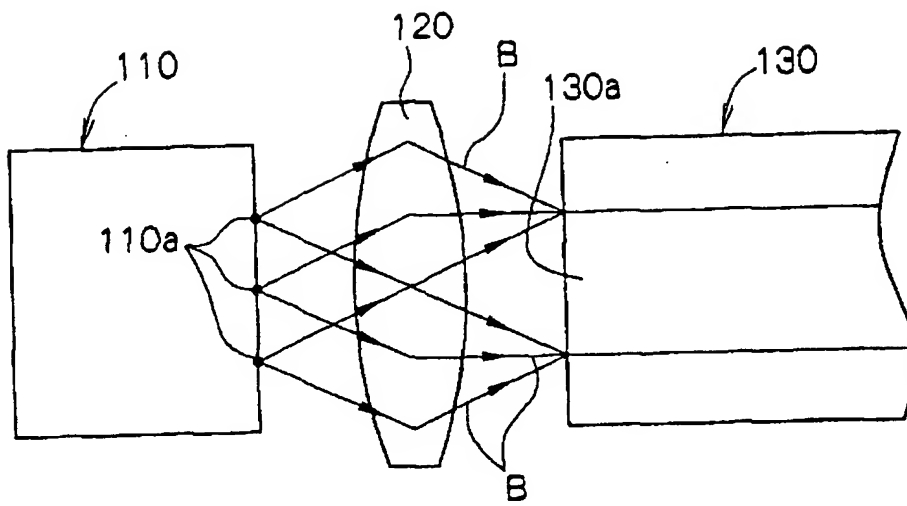
【図20】



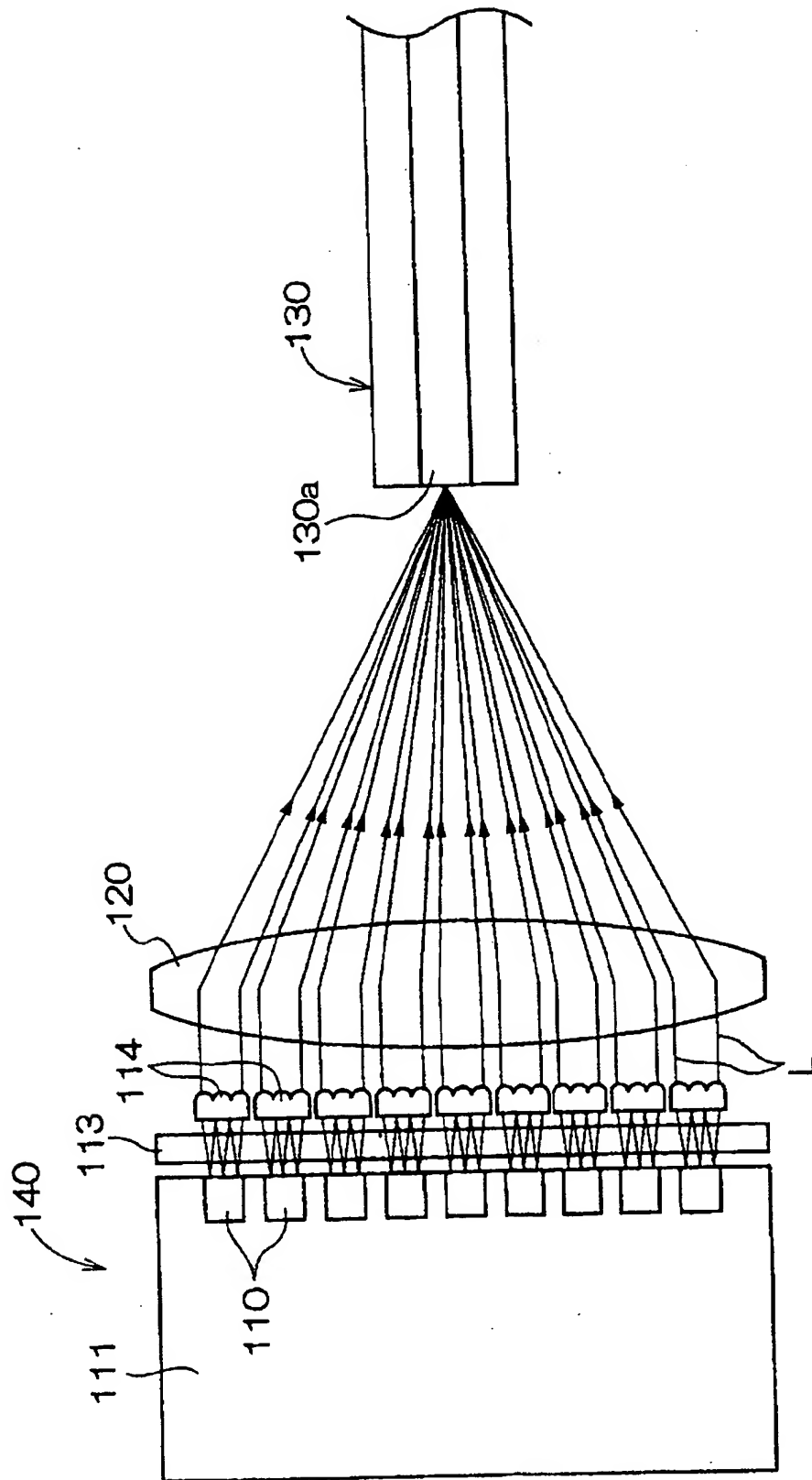
【図 2 1】



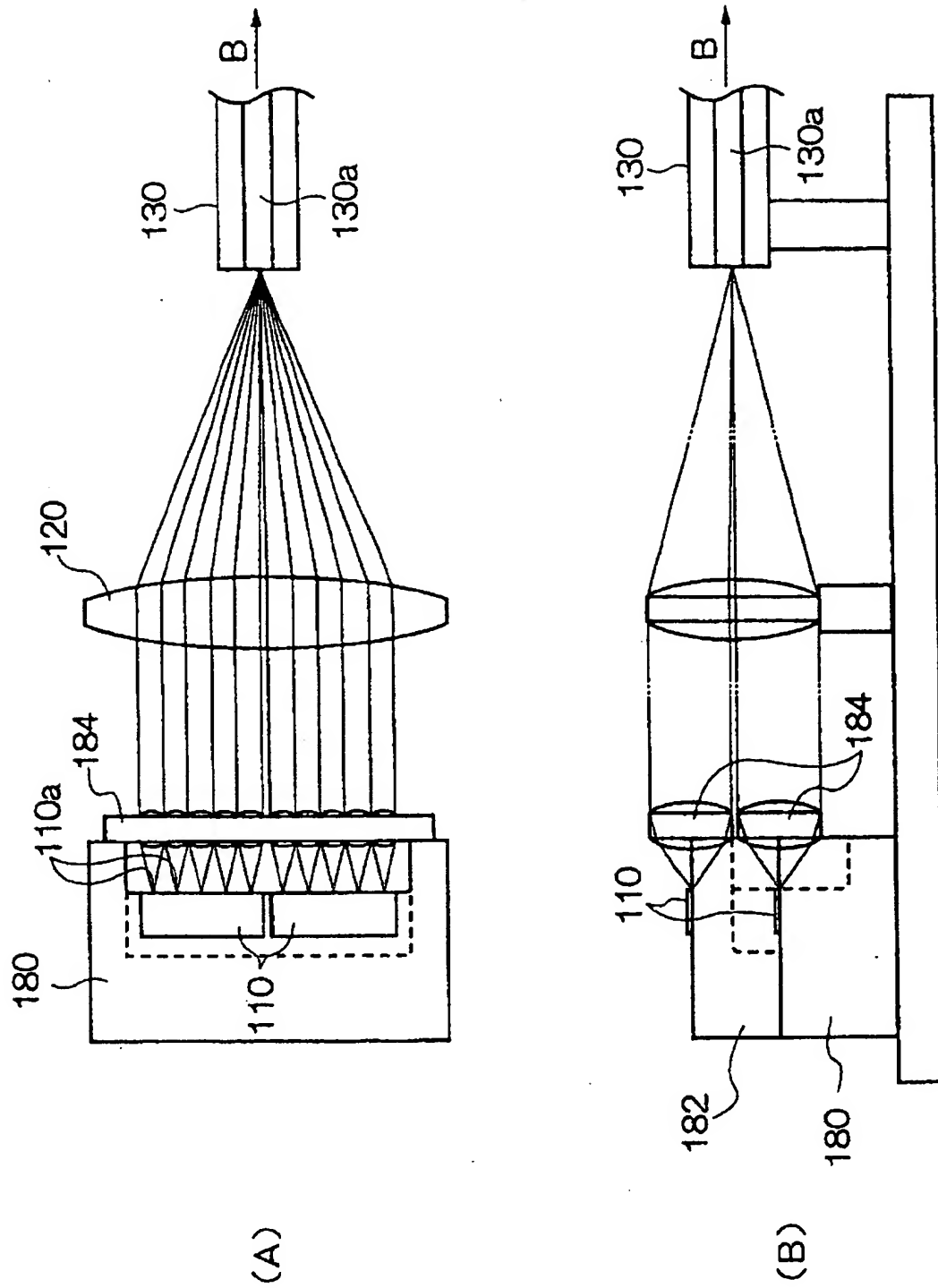
【図 2 2】



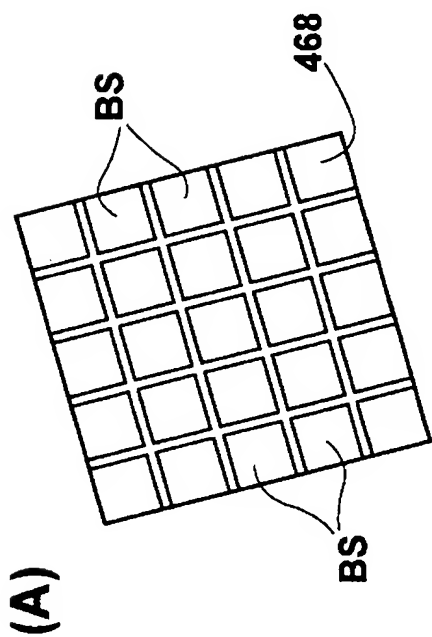
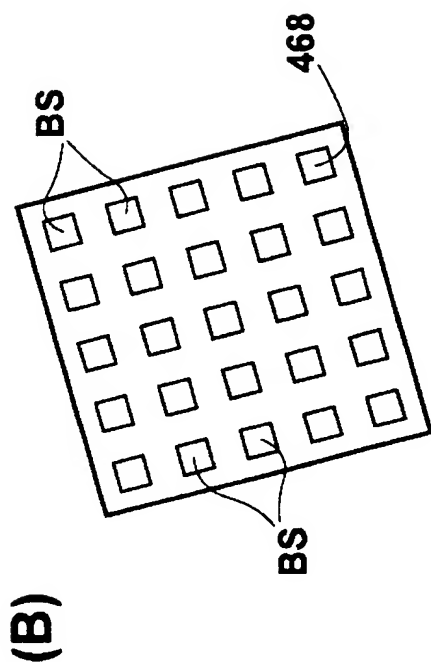
【図 23】



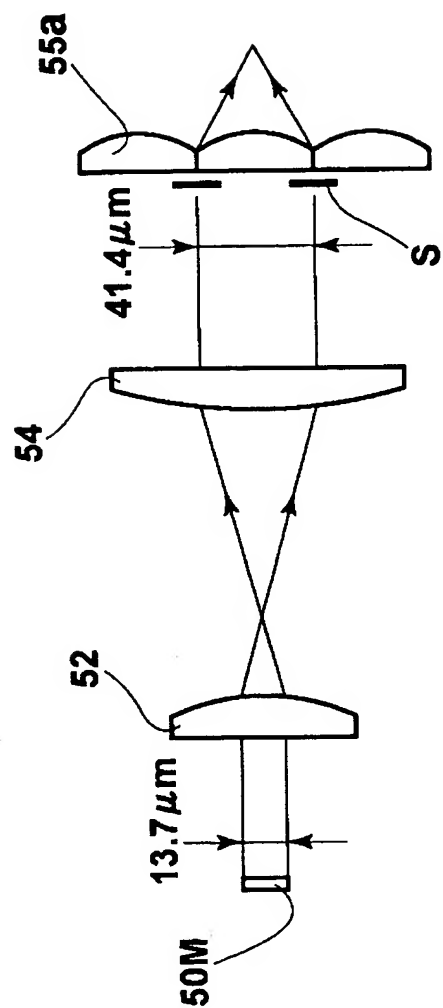
【図 2 4】



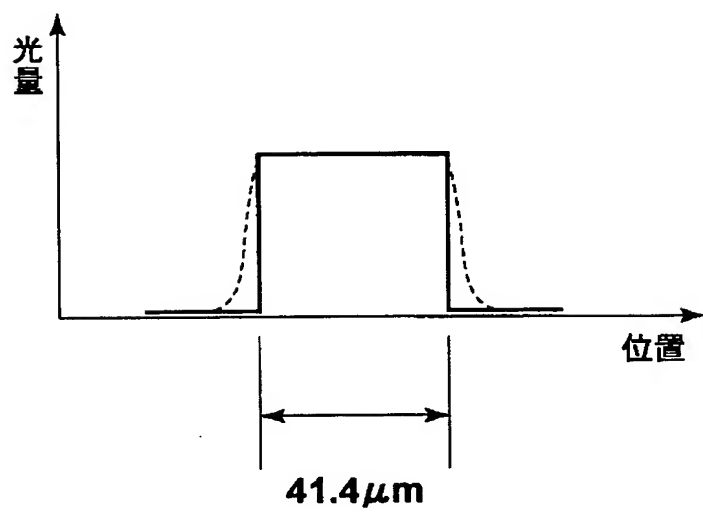
【図 2 5】



【図 2 6】



【図 2 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 第 1 および第 2 の結像光学系とマイクロレンズアレイとを組み合わせる拡大結像光学系を備えた画像形成装置において、結像光学系の歪曲収差による消光比低下を防止し、光学系の設計を容易化する。

【解決手段】 空間光変調素子 5 0 と、この空間光変調素子 5 0 で変調された光の光路に配置された例えばレンズ系 5 2, 5 4 からなる第 1 の結像光学系と、空間光変調素子 5 0 の各画素部にそれぞれ対応するマイクロレンズ 5 5 a がアレイ状に配されてなり、第 1 の結像光学系による結像面に配置されたマイクロレンズアレイ 5 5 と、このマイクロレンズアレイ 5 5 を通過した光の光路に配置されて、変調された光による像を所定の面上に結像する例えばレンズ系 5 7, 5 8 からなる第 2 の結像光学系とを備えてなる画像形成装置において、第 1 および第 2 の結像光学系を、それぞれ 1 倍を超える倍率で像を結ぶ拡大結像光学系とする。

【選択図】 図 5

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 2 - 2 8 7 6 3 1
受付番号	5 0 2 0 1 4 7 1 4 0 5
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0 0 9 0
作成日	平成 1 4 年 1 0 月 8 日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成14年 9月30日
【特許出願人】	
【識別番号】	000005201
【住所又は居所】	神奈川県南足柄市中沼 2 1 0 番地
【氏名又は名称】	富士写真フイルム株式会社
【代理人】	申請人
【識別番号】	100073184
【住所又は居所】	神奈川県横浜市港北区新横浜 3 - 1 8 - 3 新横 浜 K S ビル 7 階
【氏名又は名称】	柳田 征史
【選任した代理人】	
【識別番号】	100090468
【住所又は居所】	神奈川県横浜市港北区新横浜 3 - 1 8 - 3 新横 浜 K S ビル 7 階
【氏名又は名称】	佐久間 剛

次頁無

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 5 2 0 1]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 1 4 日
[変更理由] 新規登録
住 所 神奈川県南足柄市中沼 2 1 0 番地
氏 名 富士写真フイルム株式会社